

o. PROF. DR.-ING. DR.-ING. E. h. KARL KORDINA
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
Lehrstuhl für Massivbau

TECHNISCHE UNIVERSITÄT
BRAUNSCHWEIG

A N L A G E N

zum Forschungsbericht

Auswertung von Siloschäden

Juni 1982

BIBLIOTHEK
Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz
der Technischen Universität Braunschweig
Beethovenstraße 52
D-3300 Braunschweig

Postsendungen:
3300 Braunschweig, Beethovenstraße 52
Fernschreiber: 9 52 698 ibstb d

Erfüllungsort und Gerichtsstand Braunschweig

Fernsprecher:
391 5411
Ortskennzahl 0531
Kommt keine Verbindung zustande
bitte 391 5431 wählen

Besuchszeiten:
Montag bis Freitag 9 - 16 Uhr

Lastannahmen	Statik	Konstruktion	Bauausführung	Sonstiges
1. Unzutreffender Druckansatz 2. fehlerhafte Schüttgutkennwerte 3. Vernachlässigung drucksteigernder Einflüsse aus - Entleerung - Auslaufexzentrizitäten - Einbauteilen - pneumatischen Entleerungshilfen - Homogenisierung - schnelles Füllen - Brückenbildung - Brückeneinsturz - biolog. Reaktion organ. Schüttgüter 4. Vernachlässigung des Lastfalles Temperatur	1. Unzutreffende Systemannahmen 2. Rechenfehler etc. 3. Vernachlässigung von Einbauteilen u. Exzentrizitäten im Hinblick auf - Druckumlagerung - Änderung des stat. Systems und - Entstehung von Biegespannungen 4. Vernachlässigung von Temperaturzwang 5. Verwendung hochfester Schlaffstahlarmierung (breite Risse)	1. Unzureichende Wandstärke 2. Unzureichende Mindestbewehrung zur Sicherstellung geringer Rißbreiten 3. fehlerhafte Bewehrungsführung 4. Wahl großer Stabdurchmesser mit großem Abstand 5. Unzureichende Stoßlängen und Nichtversatz der Bewehrungsstöße 6. Mißverständliche Pläne	1. Ungeeignete Betonkonsistenz, fehlende Nachbehandlung (zu geringe Druck-, Zug-, Biegezug- u. Verbundfestigkeit) 2. Mangelnde Sorgfalt, z.B. erkennbar an - großen Maßabweichungen - unterschiedl. Betondeckung - Verlegeungenauigkeit der Bewehrung - mangelhafter Betonverdichtung (Lunker) - unverpreßten und beschädigten Spannstahlhüllrohren - nicht oder ungenügend vorgespannten Spanngliedern 3. Arbeitsunterbrechungen und unzureichende Vorbehandlung von Arbeitsfugen	1. Lagerung urspr. nicht vorges. Güter 2. Nachträgl. Einbau von Entleerungshilfen 3. Nachträgliche Wandbeschichtung (höhere Horizontaldrücke) 4. Versagen der Gründung

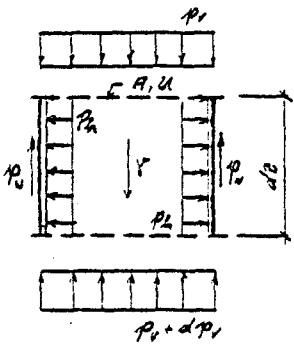
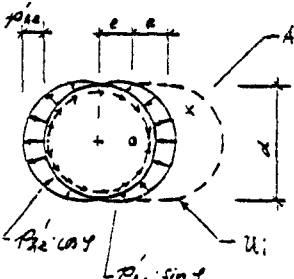
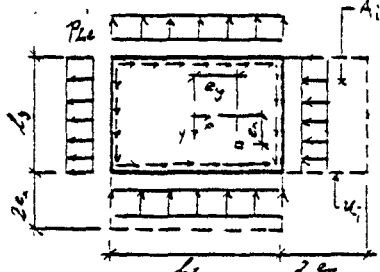
Anlage 1: Übersicht möglicher Ursachen für Siloschäden

Nr.		1	2	3	4	5
Schüttgut		Mais	Mais	Tapioka Pellets	Weizen	Zement
Baujahr		1972	1972	1973	1956	1930
Baustoff		Stahlbeton	Spannbeton	Spannbeton	Stahlbeton	Stahlbeton
Art des Schadens		Einsturz	Risse	Risse u. Abplatzungen	Teileinsturz	Risse
Erkennen des Schadens		1972	1976	1979	1972	1956
Zellenab- messungen	Höhe	75 m	75 m	75 m	18 m	21 m
	Querschnitt	$\phi_i = 11,50$ m	$\phi_i = 15,50$	$\phi_i = 11,50$	3,48/3,48	$\phi_i = 16,00$
	Wandstärke	22 cm	25 cm	24 cm	15 cm	35 cm
Einbauteile		Entl. Balken	nein	Entl. Balken	nein	Förderschnecken
planmäßig exzentrische Entleerung		nein	nein	nein	nein	nein
Lastansatz (Statik)		DIN 1055,Bl.6	DIN 1055,Bl.6	Gutachten	Janssen/Koenen	akt. Druck
Meßergebnisse		nein	ja	ja	nein	nein

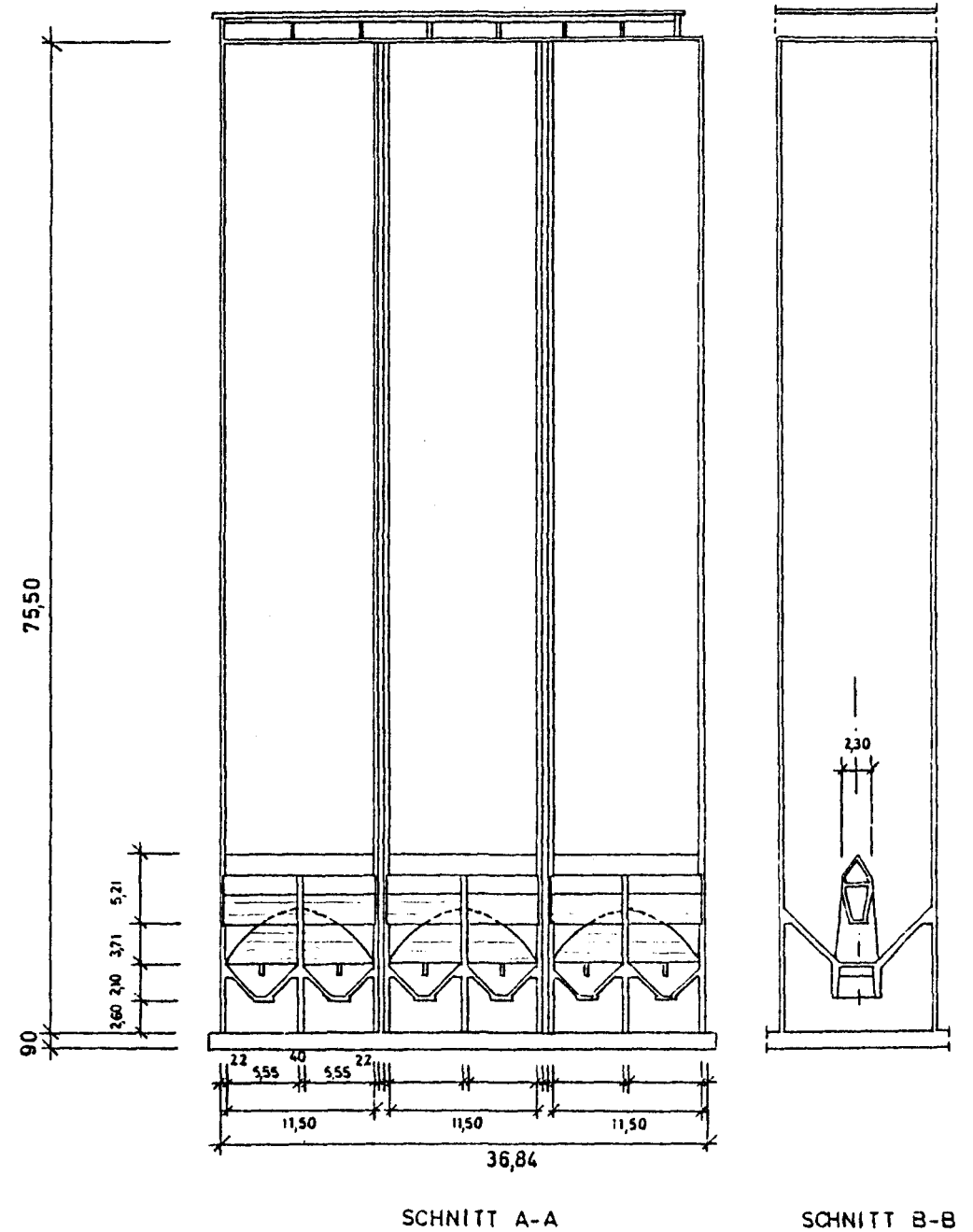
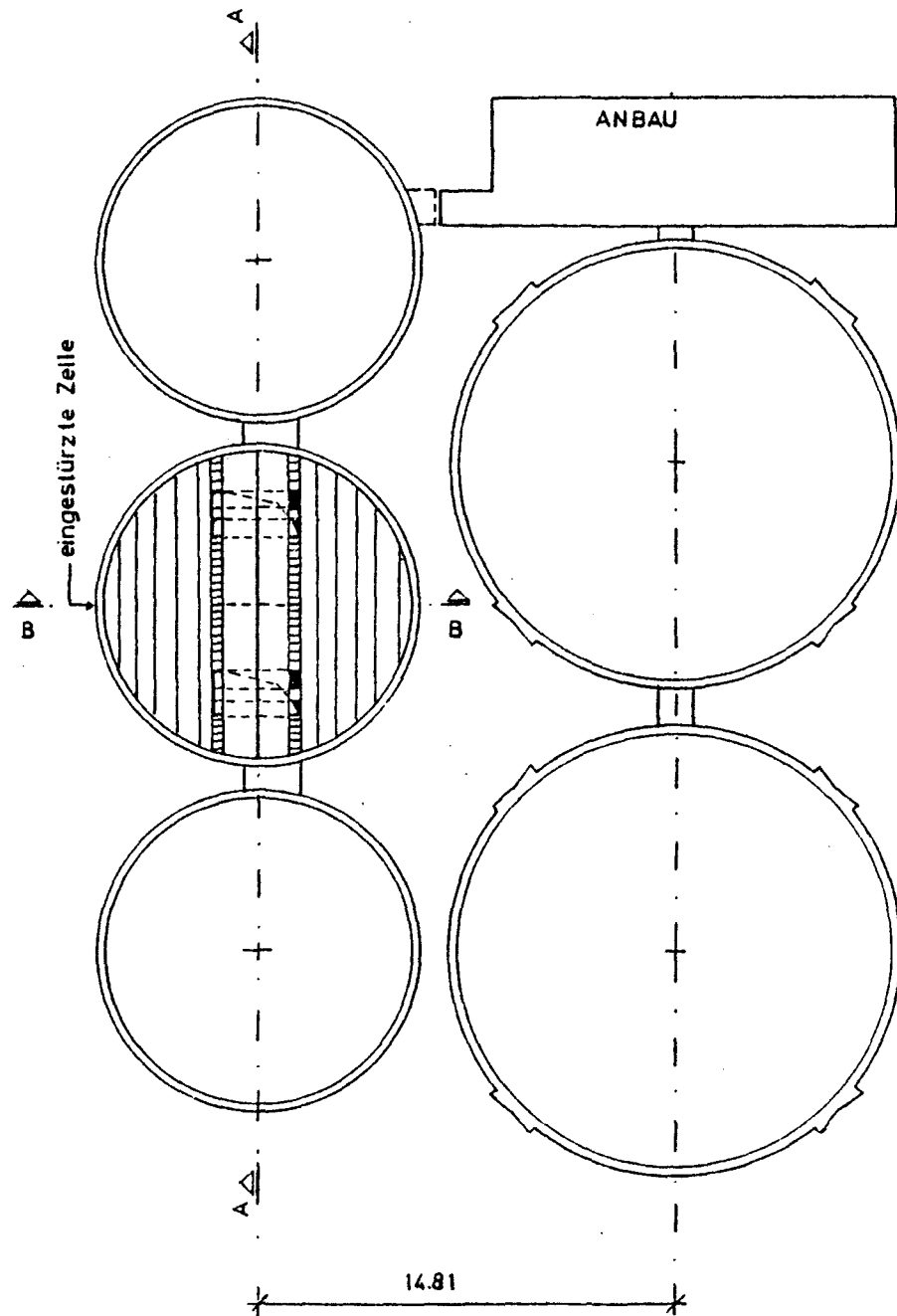
Anlage 2, Blatt 1: Überblick über die ausgewerteten Siloschäden

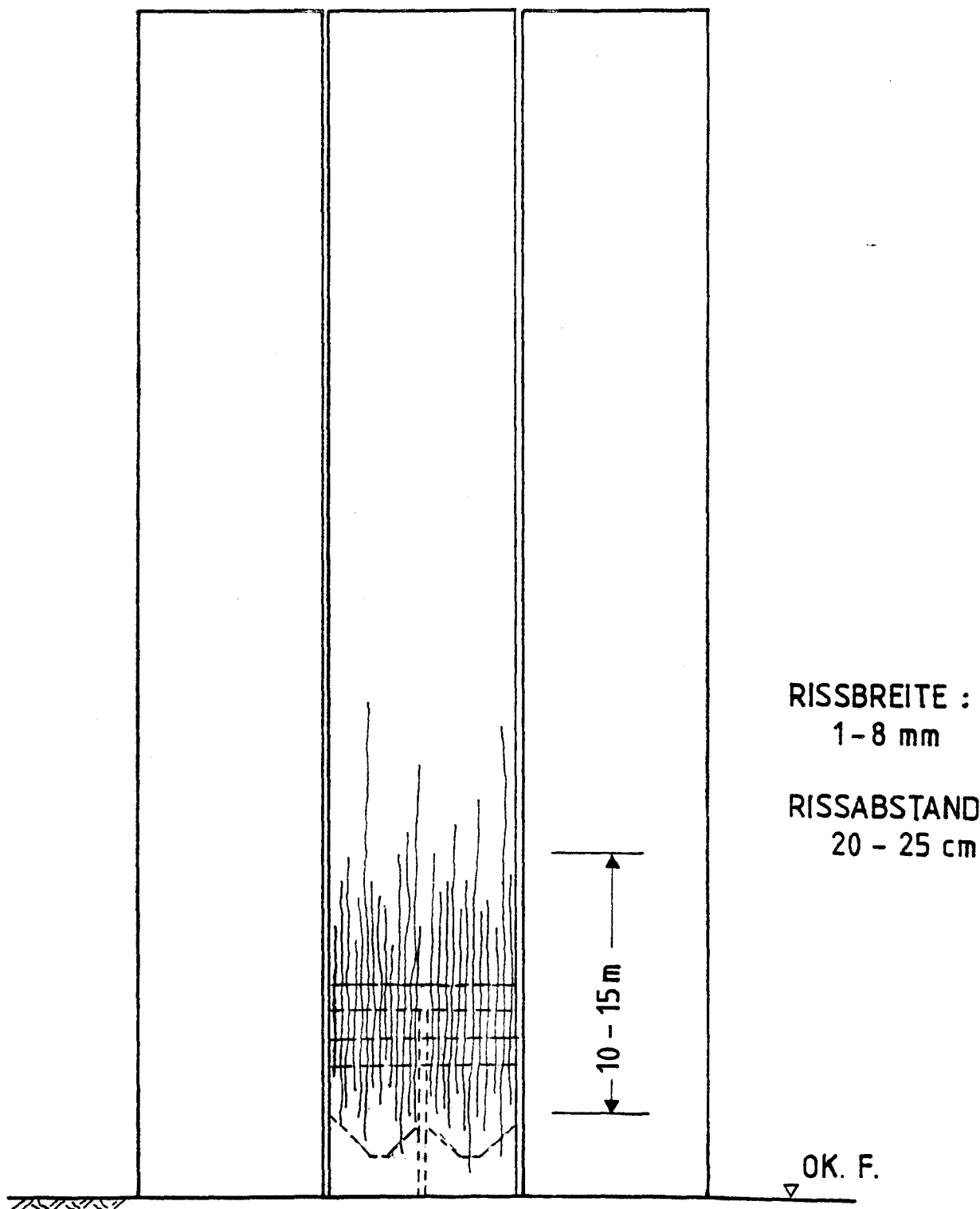
Nr.		6	7	8	9	10
Schüttgut		Zement	Zementklinker	Zementklinker	Zement	Zement
Baujahr		1938	1930	1963	1960	1979
Baustoff		Stahlbeton	Stahlbeton	Stahlbeton	Stahlbeton	Stahlbeton
Art des Schadens		Einsturz	Risse	Risse	Risse	Mischkammer- stützenbruch
Erkennen des Schadens		1956	1978	1970	1975	1981
Zellenab- messungen	Höhe	24 m	18,50 m	26,70 m	24 m	45 m
	Querschnitt	$\phi_i = 14 \text{ m}$	$\phi_i = 16 \text{ m}$	$\phi_i = 9 \text{ m}$	$\phi_i = 10 \text{ m}$	$\phi_i = 18 \text{ m}$
	Wanddicke	25 cm	35 cm	20 cm	20 cm	25 cm
Einbauteile		Förderschnecken	nein	nein	Förderschnecken Konsole	Mischkammer
planmäßig exzentrische Entleerung		nein	nein	nein	ja	nein
Lastansatz		Janssen/Koenen	akt. Druck	Janssen/Koenen	Jan sen/Koenen	DIN 1055, Bl. 6
Meßergebnisse		nein	nein	nein	nein	nein

Anlage 2, Blatt 2: Überblick über die ausgewerteten Siloschäden

Druckansatz von Janssen																																
			$\Sigma V = 0 :$ $A \cdot (p_v + dp_v - p_v) = p_h \cdot dz - p_v \cdot U \cdot dz$ $dp_v = p_v \cdot \left(1 - \frac{k \cdot U}{A}\right) \cdot dz$ Durch Integration ergibt sich: $p_v = \frac{p_h \cdot A}{\lambda \cdot \mu \cdot U} \left(1 - e^{-\frac{\lambda \cdot \mu \cdot U}{A} \cdot z}\right)$ und mit $\lambda = \frac{p_h}{p_v}$ sowie $\mu = \frac{p_v}{p_h} :$ $p_h = \frac{p_h \cdot A}{\mu \cdot U} \left(1 - e^{-\frac{\lambda \cdot \mu \cdot U}{A} \cdot z}\right)$ $p_v = \frac{p_h \cdot A}{U} \left(1 - e^{-\frac{\lambda \cdot \mu \cdot U}{A} \cdot z}\right)$		<table><tr><th colspan="2">Bezeichnungen</th></tr><tr><td>ρ</td><td>Wichte</td></tr><tr><td>φ</td><td>Reibungswinkel</td></tr><tr><td>δ</td><td>Wandreibungswinkel</td></tr><tr><td>A</td><td>Querschnitt</td></tr><tr><td>U</td><td>Umfang</td></tr><tr><td>dz</td><td>Elementhöhe</td></tr><tr><td>p_v</td><td>Vertikaldruck</td></tr><tr><td>p_h</td><td>Horizontaldruck</td></tr><tr><td>p_w</td><td>Wandreibungsdruck</td></tr><tr><td>$\lambda = p_h/p_v$</td><td>Horizontaldruckbeiwert</td></tr><tr><td>$\mu = p_v/p_h$</td><td>Reibungsbeiwert</td></tr><tr><td>$k = p_w/p_v$</td><td>$\lambda \cdot \mu$</td></tr></table>		Bezeichnungen		ρ	Wichte	φ	Reibungswinkel	δ	Wandreibungswinkel	A	Querschnitt	U	Umfang	dz	Elementhöhe	p_v	Vertikaldruck	p_h	Horizontaldruck	p_w	Wandreibungsdruck	$\lambda = p_h/p_v$	Horizontaldruckbeiwert	$\mu = p_v/p_h$	Reibungsbeiwert	$k = p_w/p_v$	$\lambda \cdot \mu$
			Bezeichnungen																													
ρ	Wichte																															
φ	Reibungswinkel																															
δ	Wandreibungswinkel																															
A	Querschnitt																															
U	Umfang																															
dz	Elementhöhe																															
p_v	Vertikaldruck																															
p_h	Horizontaldruck																															
p_w	Wandreibungsdruck																															
$\lambda = p_h/p_v$	Horizontaldruckbeiwert																															
$\mu = p_v/p_h$	Reibungsbeiwert																															
$k = p_w/p_v$	$\lambda \cdot \mu$																															
Koenen		DIN 1055, Bl. 6 (Nov. 64)		Erg. Best. zu DIN 1055																												
Füllen (f)	$\lambda = \lambda_a = \tan^2(45 - \varphi/2)$		$\lambda = \lambda_f = 0,50$		Identisch mit Füllzustand nach DIN 1055, Bl. 6																											
	Wandfläche		Schüttgut																													
	rauh	glatt	körnig	staubförmig																												
μ		$\tan \varphi$	$\tan 3/4 \varphi$	μ_f	$\tan 9,75 \varphi$																											
Entleeren, zentrisch (e, z) und exzentrisch (e, ez)	wie im Füllzustand		$\lambda = \lambda_e = 1,00$		Wie zentrisches Entleeren nach DIN 1055, Bl. 6, jedoch mit einem Vergrößerungsfaktor: $c = 1 + 0,20 \left(k + \frac{e \cdot U}{1,5 \cdot A}\right)$ Darin ist e: Abstand des Auslaufmittelpunktes vom Zellen-schwerpunkt und k: bei organischen Schüttgütern: $k = 1,0$ bei anorganischen Schüttgütern: $k = 0$ Sonderfälle: - für Mais: $c_M = 1,3 \cdot c$ - für Zucker: $c_Z = 1,0$																											
			Schüttgut																													
			körnig	staubförmig																												
		μ_e	$\tan 9,64 \varphi$	$\tan \varphi$																												
<p><u>Zul. Abminderung:</u> im Bereich von $1,2 d$ ($\leq 0,75 \cdot h$) bis zum Auslauf von p_{he} auf p_{hf}</p> <p><u>Exzentr. Entleeren</u> Berücksichtigen, wenn $e > d/6$ und $h > 2d$; Antimetrische Zusatzlast: $p_{he} = p_{he,ez} - p_{he,z}$. Der Wert $p_{he,ez}$ ergibt sich aus o.g. Druckansatz durch Einsetzen von A_1 und U_1:</p> <div>$\frac{A_1}{U_1} = \frac{\pi \cdot d^2 - 8de}{4\pi d + 16e}$</div> <div>$\frac{A_1}{U_1} = \frac{L_1 L_2 + 2(b_1 e_1 + b_2 e_2)}{2(L_1 + L_2) + 4(e_1 + e_2)}$</div>																																
<p><u>zul. Abminderung:</u> Nur bei körnigem Schüttgut, waag. Boden und zentrischem Auslauf: im Bereich von $h = 2,5 \mu \cdot d$ bis zum Boden von p_{he} auf p_{hf}</p> <p><u>Exzentr. Entleeren:</u> In 11.F. noch nicht angegeben</p>																																

Anlage 3: Druckermittlung





ANLAGE 4.2: SCHADENSCHILD NACH ANGABE
VON AUGENZEUGEN

ANLAGE 4.3: STOSSLÄNGEN UND GEGENÜBERSTELLUNG VON GEPLANTER UND AUSGEFÜHRTER BEWEHRUNG

STOSSLÄNGEN (B 25)

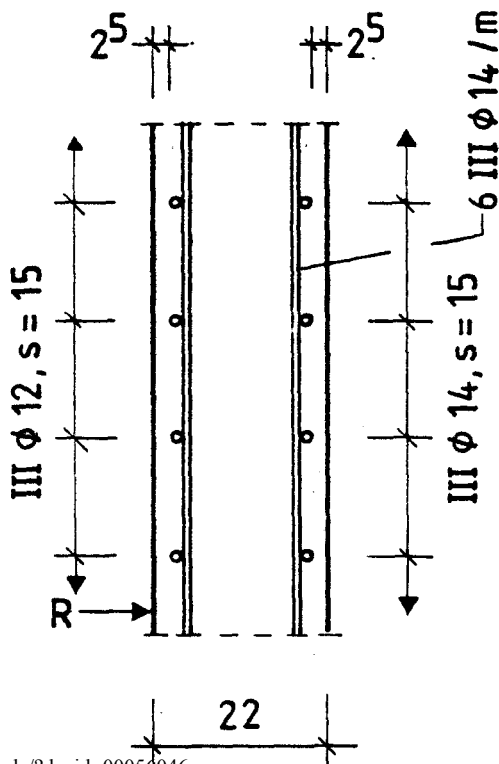
ϕ [mm] \ $l_{\text{ü}}$ [cm]	PLANMÄSSIG	DIN 1045 (12.78), ABS. 18	
		BEREICH I	BEREICH II
14 III	≥ 80	47	94
12 III	≥ 75	40	80

- ohne Längsversatz gestoßen: $\pm 50\%$
- Achsabstand n. vers. Stöße $\geq 10 d_s$

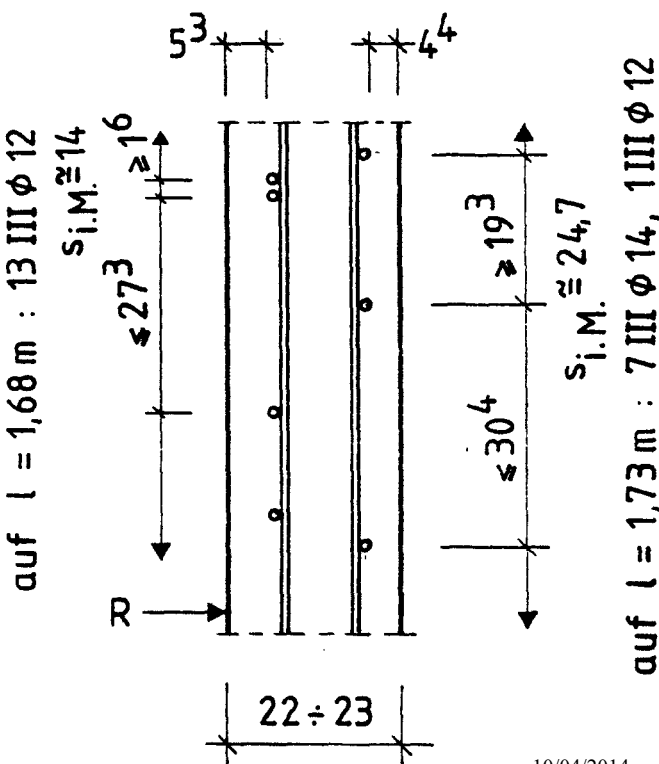
GEGENÜBERSTELLUNG

	planmäßig A_s [cm ² /m]	vorh A_s [cm ² /m]	erf. A_s (gem. Statik) [cm ² /m]
$A_{s, \text{innen}}$	7,54	8,08	407,1 / 24 =
$A_{s, \text{außen}}$	10,26	6,23	
ΣA_s	17,80	14,31	16,96

PLANMÄSSIGE BEWEHRUNGSANORDNUNG



AUSGEFÜHRTE BEWEHRUNGSANORDNUNG



Baustoff	Festigkeit	E-Modul in MN/m ²	$n = E_s/E_b$
Beton	B ~ 29	~ 31 600	6,05
Stahl	RSt 420/500 R	210 000	

	$A_{si} = 8,08 \text{ cm}^2/\text{m}$ $A_{sa} = 6,23 \text{ cm}^2/\text{m}$ $\underline{\underline{\Sigma A_s = 14,31 \text{ cm}^2/\text{m}}}$
--	--

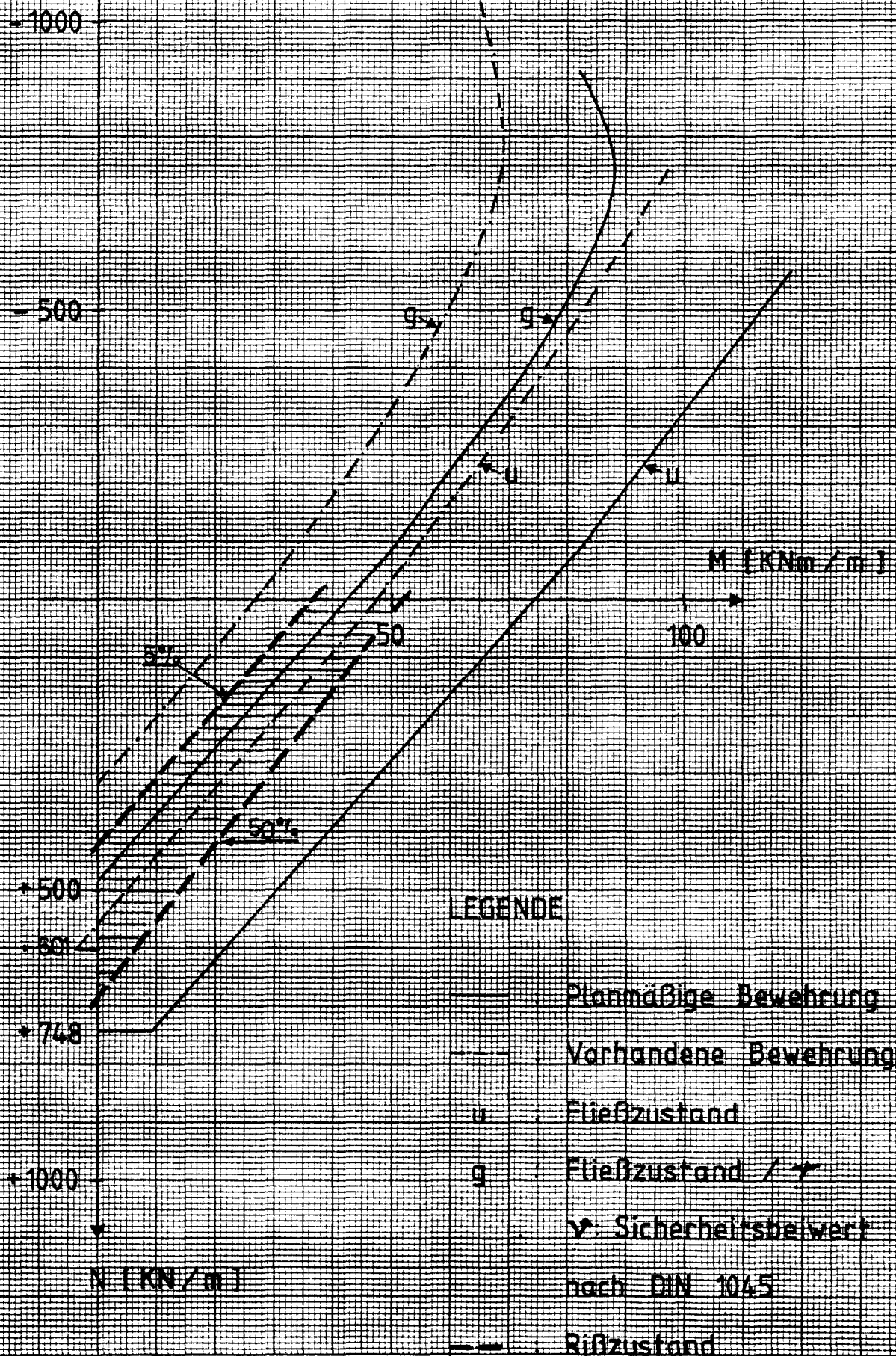
Querschnittswerte		
A_{bi}	m ² /m	0,228
y_{bi}	cm	11,04
I_{bi}	m ⁴ /m	$9,125 \cdot 10^{-4}$
$W_{bi, \text{innen}}$	m ³ /m	$8,263 \cdot 10^{-3}$
$W_{bi, \text{außen}}$	m ³ /m	$8,328 \cdot 10^{-3}$

Befonzugfestigkeit nach Rüschi [25] : $\beta = c \cdot 0,464 \cdot \sqrt[3]{\beta_{WN}^2}$						
	c 5%	β 5%	Dim.	c 50%	β 50%	Dim.
Zugfestigkeit β_Z	0,42	1,84	N	0,69	3,02	N
Biegezugfest. β_{BZ}	1,00	4,38	mm ²	1,43	6,26	mm ²

Rißschnittgrößen	Dimension	5% Fraktile	50% Fraktile
$Z_R = \beta_Z \cdot A_{bi}$	kN/m	420	690
$M_R = \beta_{BZ} \cdot W_{bi, \text{außen}}$	kNm/m	36,5	52,7

Anlage 4.4 : Rißschnittgrößen

ANLAGE 4.5 : TRAGFÄHIGKEITSGRENZLINIEN



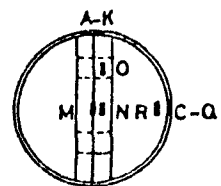
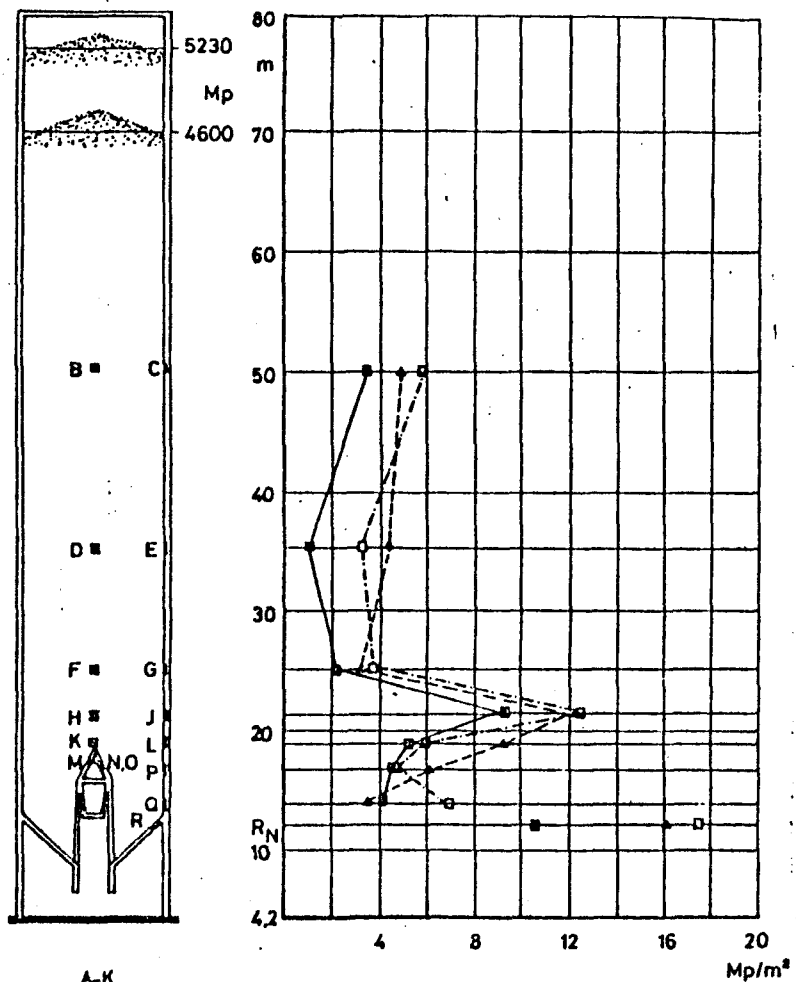
*) nach [30]

Allg. Formeln	
$\Delta T_w = \frac{g_{\Delta T} \cdot d}{d + \lambda \left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_a} \right)}$	$M_{\Delta T}^I = \frac{E_b \cdot J_{bi} \cdot \alpha_T \cdot \Delta T_w}{d (1 - \nu)}$
$M_{\Delta T}^Z = M_{\Delta T}^I \cdot \frac{K_b}{E_b \cdot J_{bi}}$	$K_b^{*}) = [0,2 + 6 \cdot \Sigma \mu_s] \cdot E_b \cdot J_{bi}$

Parameter	Dimension	
T_i	$^{\circ}\text{C}$	~ 40
T_a	$^{\circ}\text{C}$	~ 5
$g_{\Delta T} = T_i - T_a$	$^{\circ}\text{C}$	~ 35
λ Beton	$\frac{\text{J kcal}}{\text{m} \cdot \text{s} \cdot ^{\circ}\text{C}}$	$\sim 1,74$ (DIN 4108)
$\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_a}$	$\frac{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot ^{\circ}\text{C}}{\text{J kcal}}$	$\sim 0,2$ (1055, B1.6)
α_T	$1/^{\circ}\text{C}$	10^{-5}
b	m	$1,00$
d	m	$0,22$
h	m	$\sim 0,17$
J_{bi}	m^4 / m	$9,125 \cdot 10^{-4}$
E_b	MN / m^2	$3,16 \cdot 10^4$
ν	-	$\sim 0,20$
$\Sigma \mu_s$	cm^2 / m	$14,31$
$\Sigma \mu = \frac{\Sigma \mu_s}{b \cdot h}$	-	$0,0084$
$K_b / E_b \cdot J_{bi}$	-	$\sim 0,25$

Ergebnisse		
$\Delta T_w \approx 15 ^{\circ}\text{C}$	$M_{\Delta T}^I \approx 25 \text{ kNm/m}$	$M_{\Delta T}^Z \approx 6 \text{ kNm/m}$

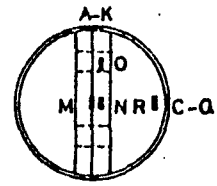
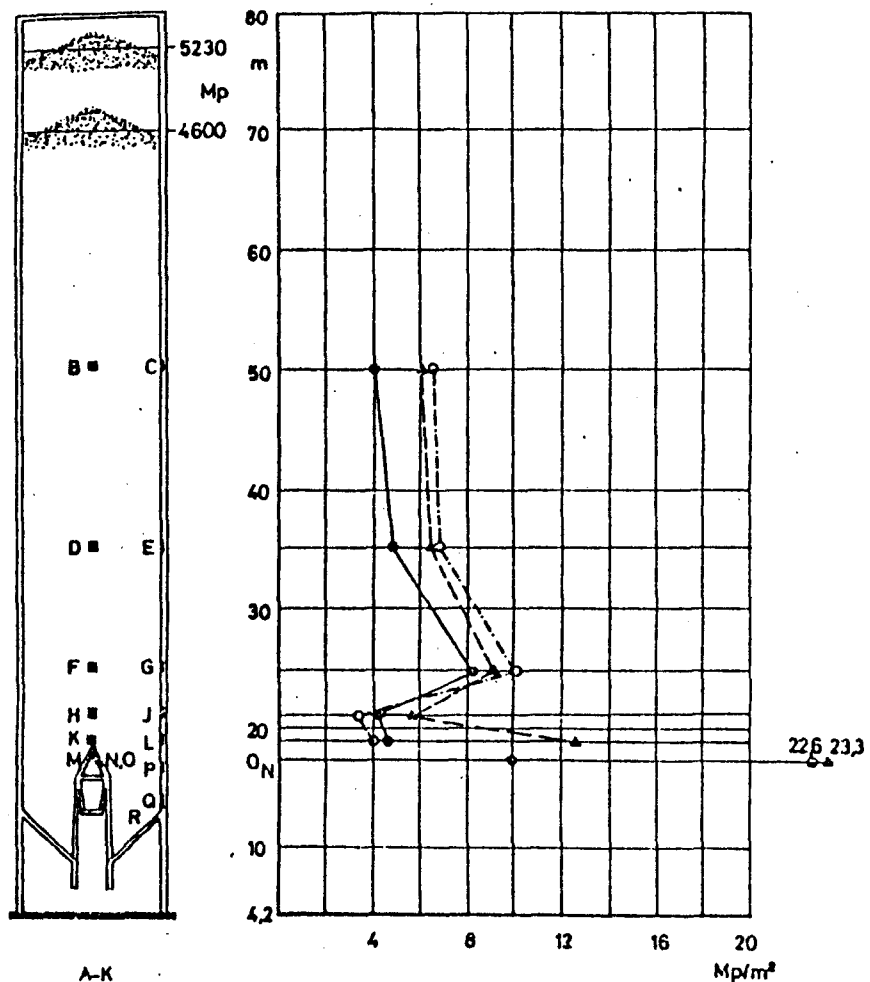
Anlage 4.6 : Temperaturzwang



SCHÜTTGUTLASTEN p_h, p_N

US-MAIS $\gamma_L = 0,72 \text{ kp/dm}^3$
 FÜLLEN —■— 5230 Mp
 ENTLEEREN - -□- - 5230+4600 Mp
 UMLAGERN - -▲- - 5230 Mp

C-R



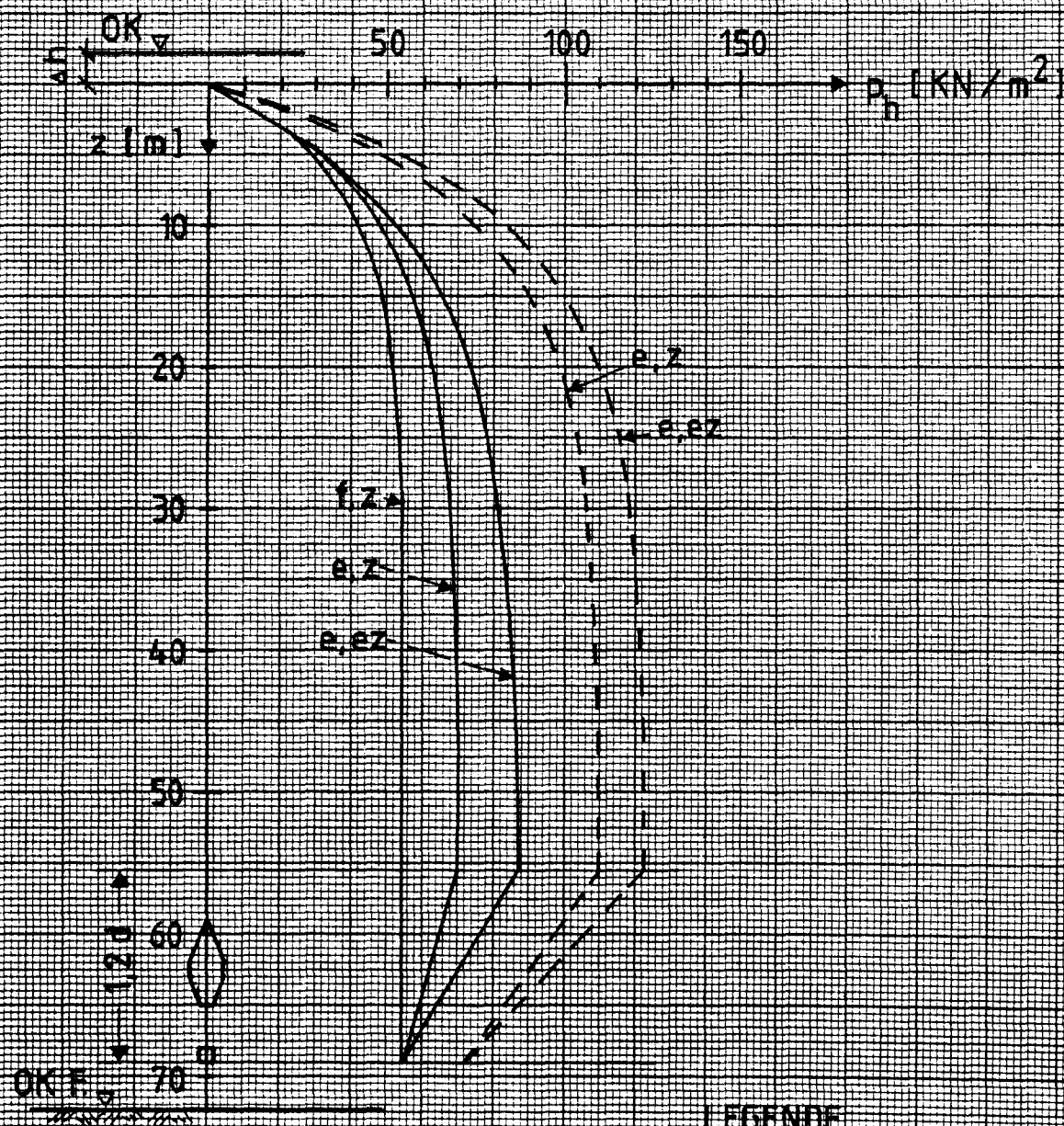
SCHÜTTGUTLASTEN p_h, p_N

US-MAIS $\gamma_L = 0,72 \text{ kp/dm}^3$
 FÜLLEN —■— 5230 Mp
 ENTLEEREN - -□- - 5230+4600 Mp
 UMLAGERN - -▲- - 5230 Mp

B+K

ANLAGE 4.8 :

HORIZONTALDRUCK VON MAIS NACH BERECHNUNGSVORSCHRIFTEN



LEGENDE

- DIN 1055, Blatt 6
- - - Ergänzende Bestimmungen zu DIN 1055, Blatt 6
- f,z Füllung, zentrisch
- e,z Entleerung, zentrisch
- e,eZ Entleerung, exzentrisch

Parameter	Einr.	1055-6 (11.64) 1055-11 (7.72)	EB	Normwerte auf 17.7:
μ	MN/m^3	8,0	8,0	8,0
φ	°	30	30	31
δ_f	°	22,5	22,5	—
$\mu_f = \tan \delta_f$	—	0,414	0,414	0,40
δ_e	°	18,0	18,0	—
$\mu_e = \tan \delta_e$	—	0,325	0,325	—
λ_a	—	—	—	—
λ_f	—	0,50	0,50	0,60
λ_e	—	1,00	1,00	—
H/U	u_1	2,875	2,875	2,875
e	u_1	~ 3,00	~ 3,00	—
H_i / U_i	u_1	3,60	—	—
C_2 (EB)	—	—	$1,3 \cdot 1,2 = 1,56$	—
C_{E2} (EB)	—	—	$1,3 \cdot 1,34 = 1,74$	—
C_h (NE-11)	—	—	—	1,4
C_b (NE-11)	—	—	—	1,7

Exzentrizität:

- Verstopfung eines Auslaufes $e \approx 2,975 \text{ m}$
- Abfluß nur auf einer Seite des Entlastungsbalkens $e \approx 3,10 \text{ m}$

Ausatz: $e \approx 3,00 \text{ m}$

Ersatzhöhe für Stützpunktregel:

$$\begin{aligned}
 \Delta h &\approx \frac{2}{3} \cdot r \cdot \tan \varphi \\
 &= \frac{2}{3} \cdot 5,75 \cdot \tan 30^\circ \\
 &\approx \underline{\underline{2,20 \text{ m}}}
 \end{aligned}$$

Maß:

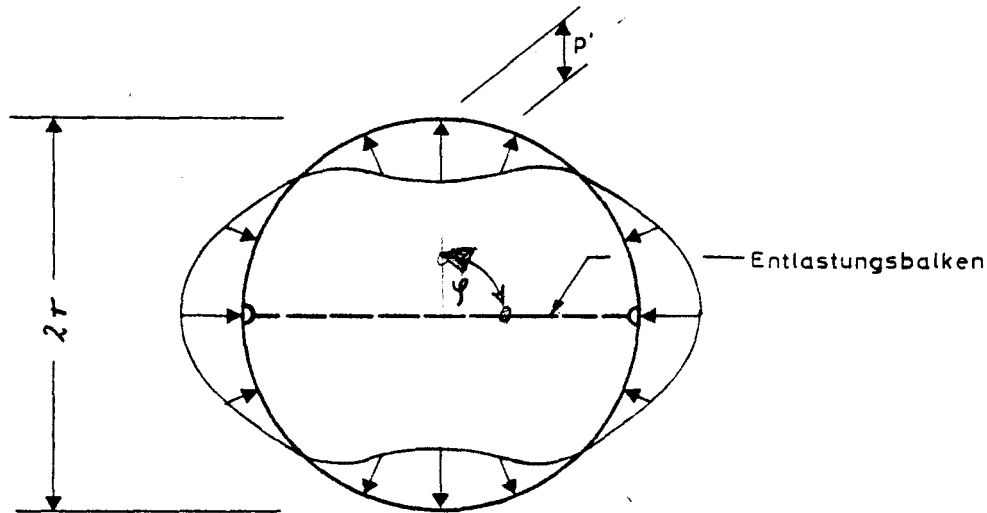
Anlage 4.9 : Kennwerte zur Druckermittlung

		$\max p_R$	$\max z$	$\max z / \max z_{e,z} (10556)$
		N/mm^2	N/mm	—
DIN 1055, 8L6	Füllen, zentrisch	56	326	0,75
	Entleeren, zentrisch	77	475	1,0
	Entleeren, exzent.	89	519	1,25
Fis. Best.	Entleeren, zentr.	110	647	1,56
	Entleeren, exzent.	123	722	1,73
Normen zw. 11. F.	Füllen, zentrisch	57,5	337	0,87
	Entleeren, zentrisch	80,5	472	1,14

$$\max z = \max p_R \cdot r \approx \sqrt{86} \cdot \max p_R$$

Anlage 4.10: Max. Horizontaldruck und Ringzugkraft

Lastansatz : $\Delta p_h = \alpha \cdot \max p_h \cdot \cos 2\varphi = p' \cdot \cos 2\varphi$



Schnittgrößen

mit Entlastungsbalken

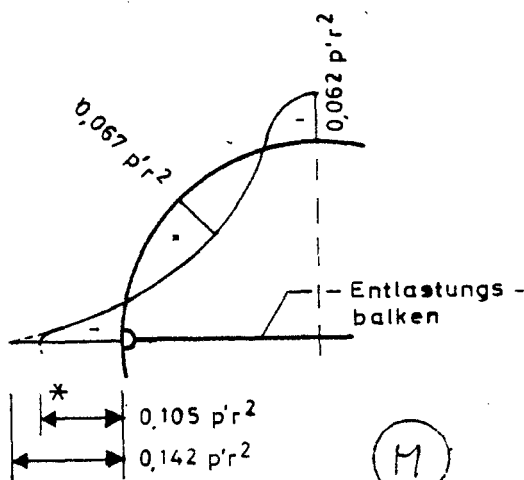
$$M(\varphi) = \frac{p' \cdot r^2}{3} \cdot \cos 2\varphi - 0,7468 p' r^2 \left(\frac{2}{\pi} - \sin \varphi \right)$$

$$N(\varphi) = \frac{p' \cdot r}{3} (\cos 2\varphi + 2,24 \cdot \sin \varphi)$$

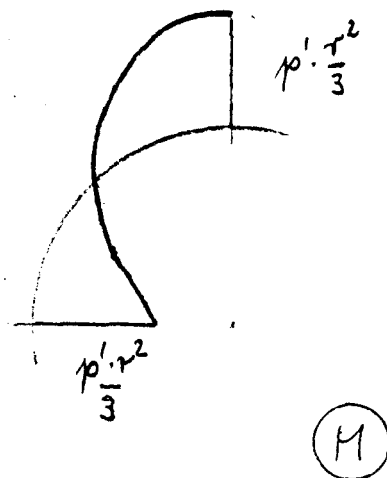
ohne Entlastungsbalken

$$M(\varphi) = \frac{p' \cdot r^2}{3} \cdot \cos 2\varphi$$

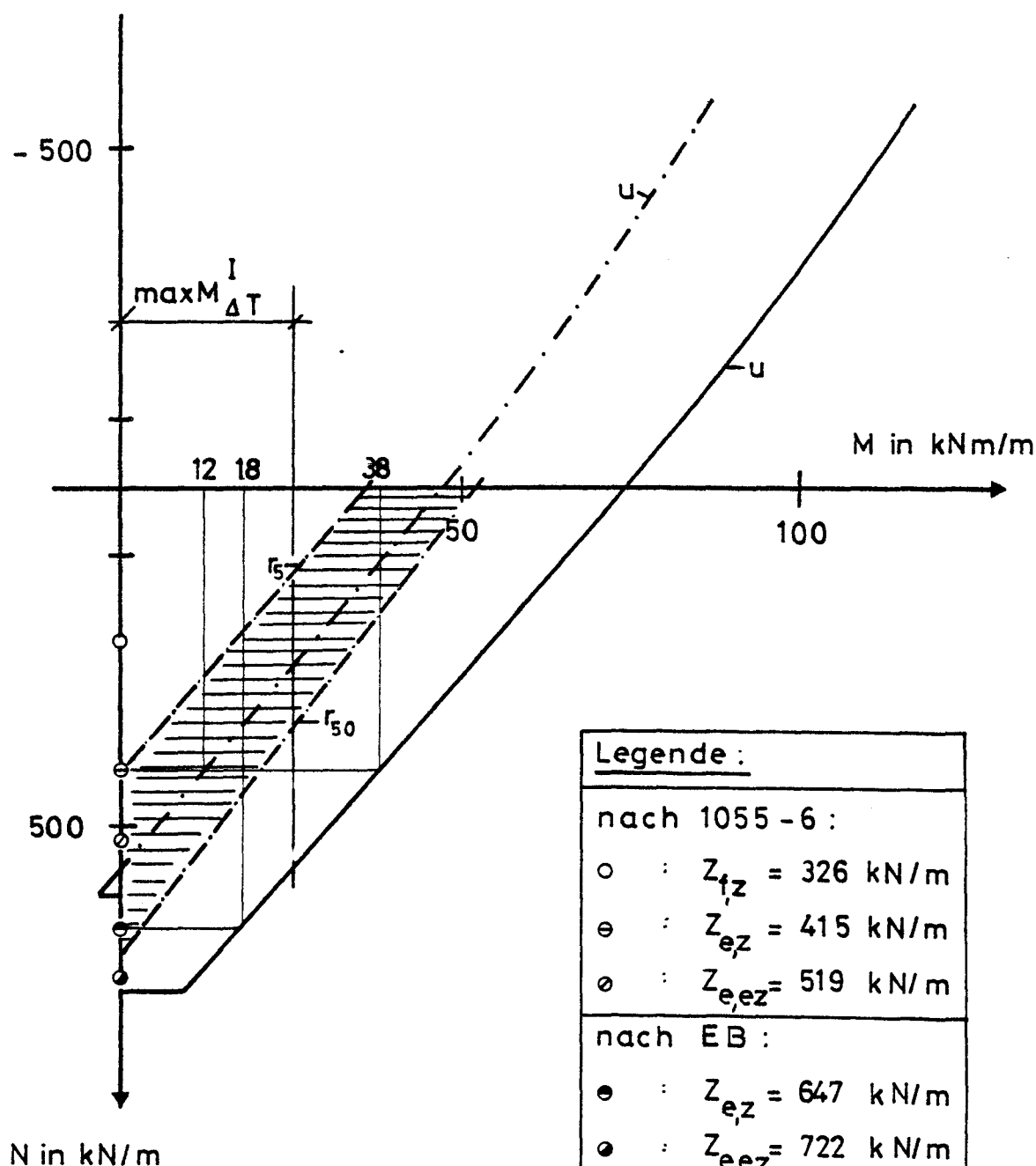
$$N(\varphi) = \frac{p' \cdot r}{3} \cdot \cos 2\varphi$$



x) Ausrundung



ANLAGE 4.12: Tragfähigkeitsgrenzlinien und Fließmomente bei Ringzugkräften nach DIN 1055 Bl. 6 und Erg. Best.



Legende :

nach 1055 - 6 :

○ : $Z_{fz} = 326 \text{ kN/m}$

◐ : $Z_{ez} = 415 \text{ kN/m}$

◑ : $Z_{eez} = 519 \text{ kN/m}$

nach EB :

● : $Z_{ez} = 647 \text{ kN/m}$

◐ : $Z_{eez} = 722 \text{ kN/m}$

— : planm. Bew.

--- : vorh. Bew.

u : Fließzustand

r : Rißzustand

			DIN 1057, Zl. 6 : Zentr. Entleeren mit Druckvent.	Erz. Bestimmungen: Zentr. Entleeren mit Druckvent.
Z in kN/m			415	647
M _u in kNm/m (Anlage 4.12)	planar. FS		38	18
	vorh. FS		12	20
ohne M _T	$\alpha(FS, \text{plan})$	mit Balken	$\sim 0,15$	$\sim 0,06$
		ohne Balken	$\sim 0,05$	$\sim 0,01$
	$\alpha(FS, \text{vorh})$	mit Balken	$\sim 0,05$	X
		ohne Balken	$\sim 0,02$	
mit M _T $\frac{M_{T, \text{max}}}{M_u} = 6 \frac{kNm}{m}$	$\alpha(FS, \text{plan})$	mit Balken	$\sim 0,12$	$\sim 0,03$
		ohne Balken	$\sim 0,04$	$\sim 0,01$
	$\alpha(FS, \text{vorh})$	mit Balken	$\sim 0,025$	X
		ohne Balken	$\sim 0,01$	

α - Werte:

Nach Anlage 4.11 gilt mit $r \approx 5,86 m$:

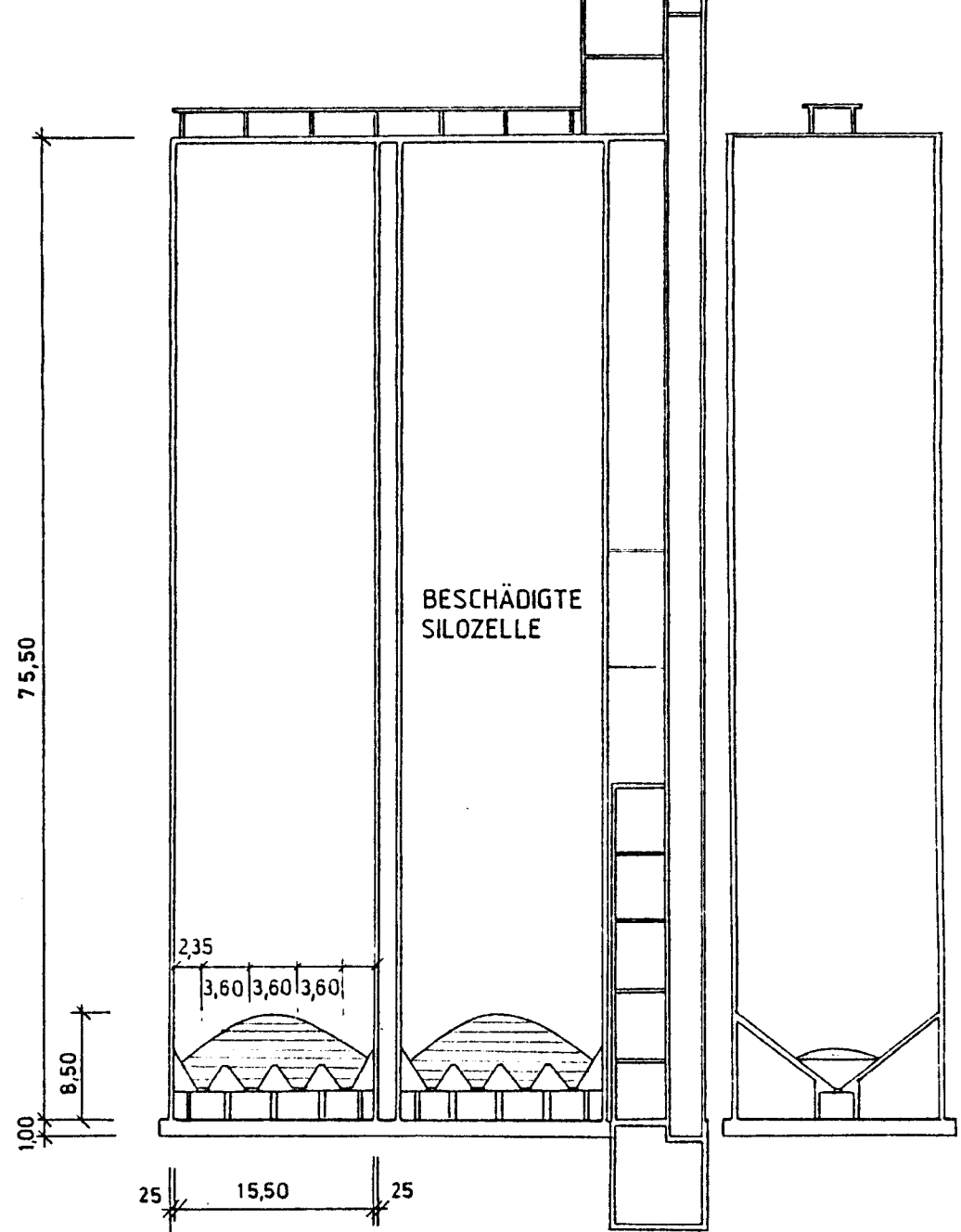
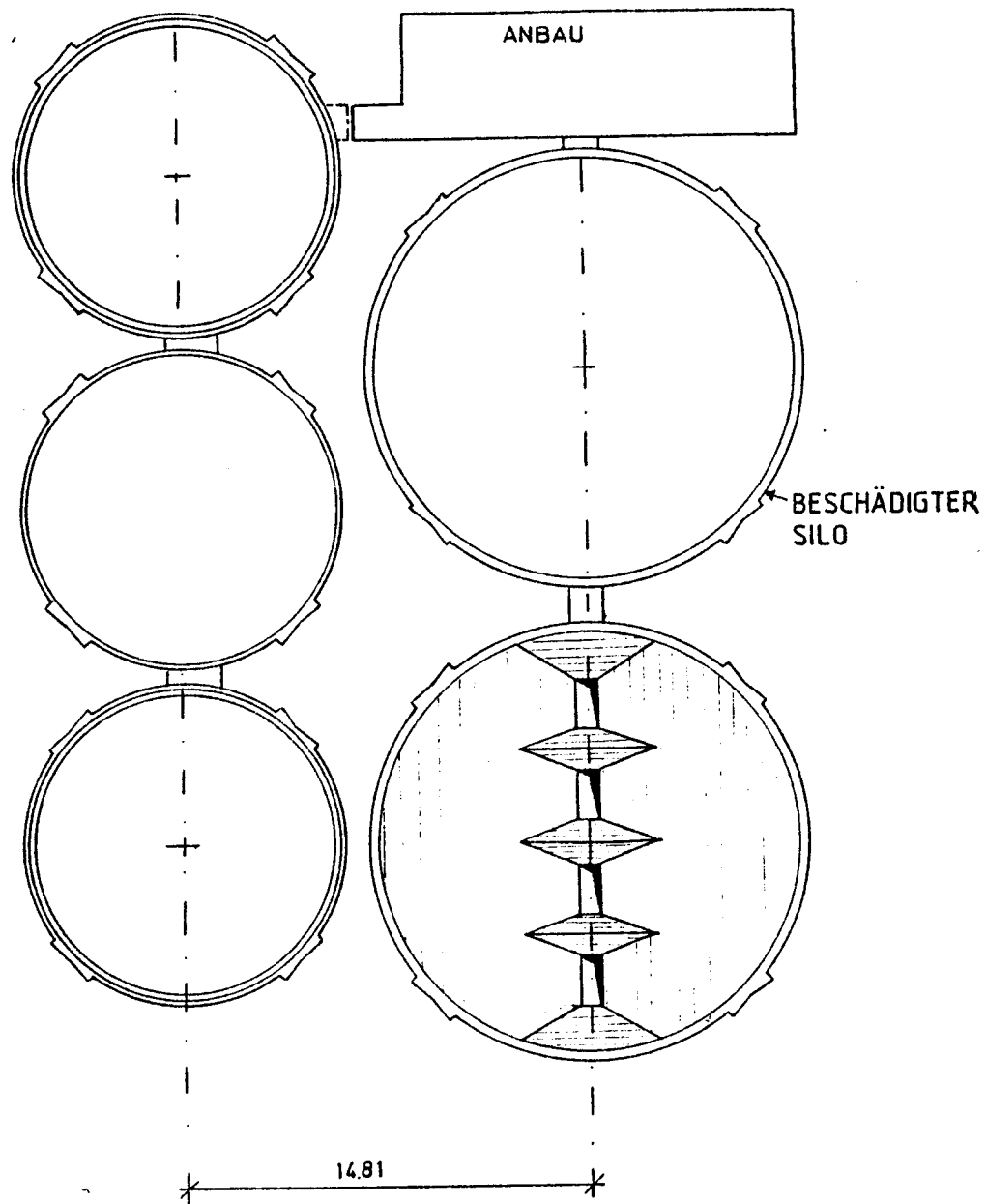
$$\alpha_{\text{mit Entl. balken}} = \frac{M_u}{\sim 0,105 \cdot p_4 \cdot r^2} = \frac{M_u}{\sim 0,105 \cdot Z \cdot r}$$

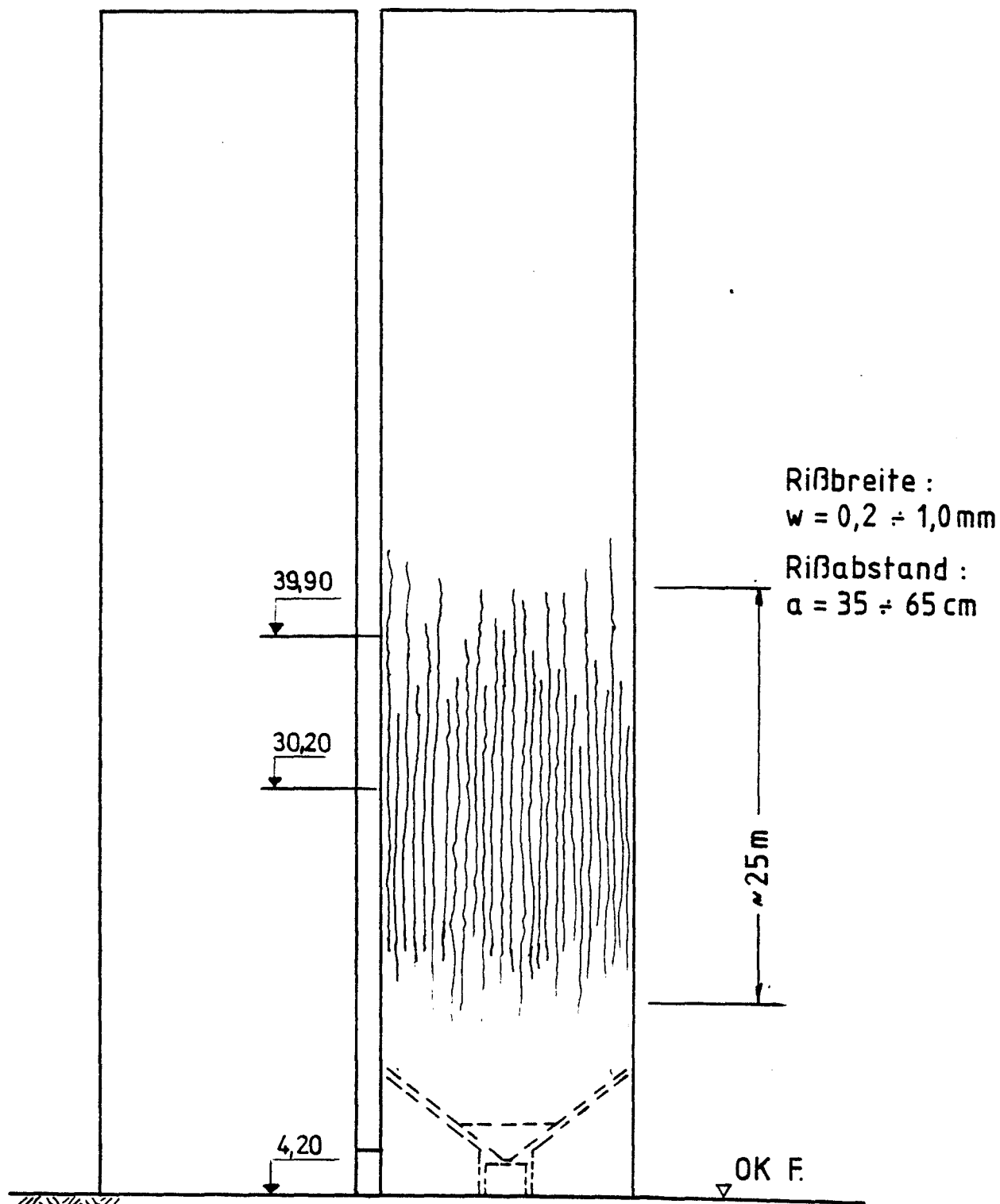
$$\sim 1,65 \cdot \frac{M_u}{Z}$$

$$\alpha_{\text{ohne Entl. balken}} = \frac{M_u}{0,333 \cdot p_4 \cdot r^2} = \frac{M_u}{0,333 \cdot Z \cdot r}$$

$$\sim 0,50 \cdot \frac{M_u}{Z}$$

Anlage 4.13 Fließen auslösende α -Werte





**ANLAGE 5.2 : SCHADENSBILD NACH ANGABE
 VON AUGENZEUGEN**

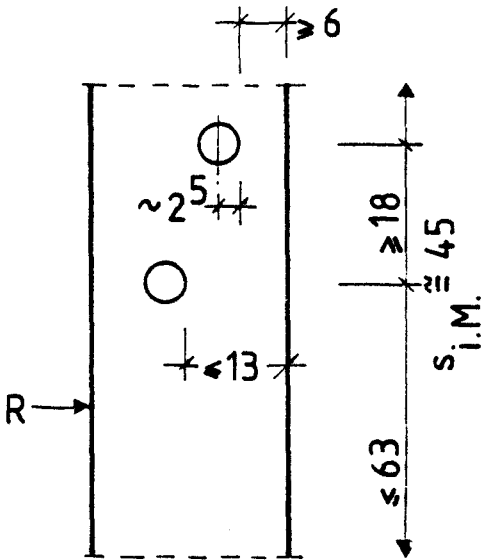
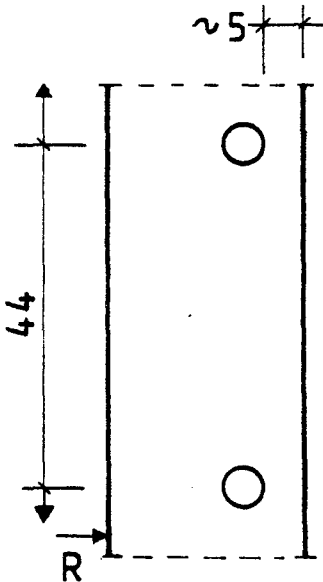
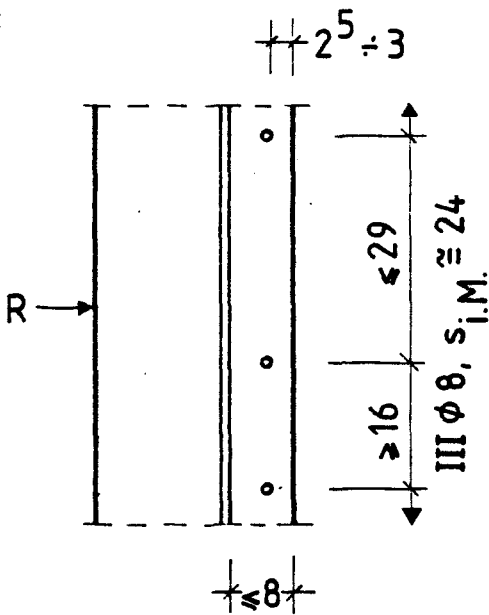
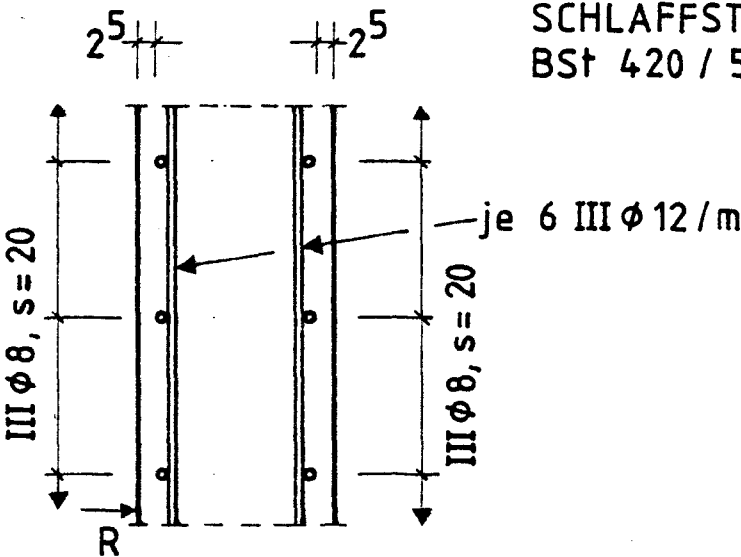
ANLAGE 5.3: STOSSLÄNGEN UND GEGENÜBERSTELLUNG VON GEPLANTER UND AUSGEFÜHRTER BEWEHRUNG

STOSSLÄNGEN (B 25)

$\frac{l_{\ddot{u}} [cm]}{\phi [mm]}$	planmäßig	DIN 1045 (12.78) , Abs.18	
		Bereich I	Bereich II
8 III	≥ 70	27	54
- ohne Längsvers. gestoß. : $\leq 50\%$		- Achsabst. nicht vers. Stöße: $\geq 10 d_s$	

PLANMÄSSIGE BEWEHRUNGSANORDNUNG

AUSGEFÜHRTE BEWEHRUNGSANORDNUNG



Spanngliedlänge :

$$l_{ges} = 0,5 \cdot l_{\text{Stütz-Wandachse}} + 2 \cdot 0,5 \cdot l_{\text{Liese}} \approx 26,80 \text{ m}$$

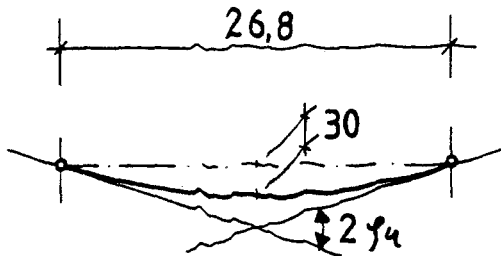
Umlenkwinkel (planmäßig) :

$$\alpha = 360 / 4 = 90^\circ$$

$$\beta = 0,5^\circ / \text{m}$$

$$\varphi_{pl.} = 90 + \frac{26,80}{2} \cdot 0,5 = 96,7^\circ$$

Umlenkwinkel (unplanmäßig) :



$$\arctan \varphi_u = \frac{0,6}{13,4}$$

$$\text{ist } \varphi_u \approx 2,6^\circ$$

Gesamtumlenkwinkel :

$$\varphi_{res} = \sqrt{\varphi_{pl.}^2 + \varphi_u^2} = 96,73^\circ$$

Auswirkung :

$$\Delta = \frac{96,73 - 96,7}{96,7} \cdot 100 \approx 0,03 \text{ ‰}$$

Anlage 5.4 : Spannglieddurchhang , Auswirkung auf Umlenkwinkel bzw. auf Reibungsverluste

Spannungsverluste infolge sk :

$$\sigma_{z,sk} \approx \frac{\varepsilon_{s,t} \cdot E_z + n \cdot \rho_t \cdot \sigma_{bz,v+s}}{n \cdot \sigma_{bz,v} \cdot (1 + 0,5 \cdot \rho_t) - \sigma_{z,v}} \cdot \sigma_{z,t=0}$$

$\max p_{hf} (1055-6)$	$\frac{\rho \cdot r}{m_f \cdot 2} \approx 75 \frac{kN}{m^2}$
$z (p_{hf})$	$\approx 590 \frac{kN}{m}$
$\sigma_{v,t=0}$	$-307 \text{ kN je Spannungsglied}$
s	$0,45 \text{ m}$
F_z	$4,68 \text{ m}^2 \text{ je Spannungsglied}$
F_b	$\approx 0,25 \text{ m}^2/m$
n	≈ 7
$\rho_t = 1000 \text{ d}$	$\approx 2,0 (1,3 - 0,5) + 0,4 \approx 2,0$
$\varepsilon_{s,t} = 1000 \text{ d}$	$\approx 25 \cdot 10^{-5} (0,8 - 0,15) = 16,25 \cdot 10^{-5}$
$\sigma_{bz,v}$	$\frac{-307}{0,45 \cdot 0,25} = -2730 \frac{kN}{m^2}$
$\sigma_{bz,v+s}$	$-2730 + \frac{590}{0,25} \cdot 0,25 \cdot 0,25 = -2140 \frac{kN}{m^2}$ <small>↖ 25%</small>
$\sigma_{z,v}$	$\frac{307}{4,68} = 65,6 \frac{kN}{m^2}$

$$\sigma_{z,sk} = \frac{-16,25 \cdot 2140 - 7 \cdot 2,0 \cdot 2140}{-7 (1 + 0,5 \cdot 2,0) \cdot 2730 - 656000} \cdot \sigma_{z,t=0} \approx 0,092 \cdot \sigma_{z,t=0}$$

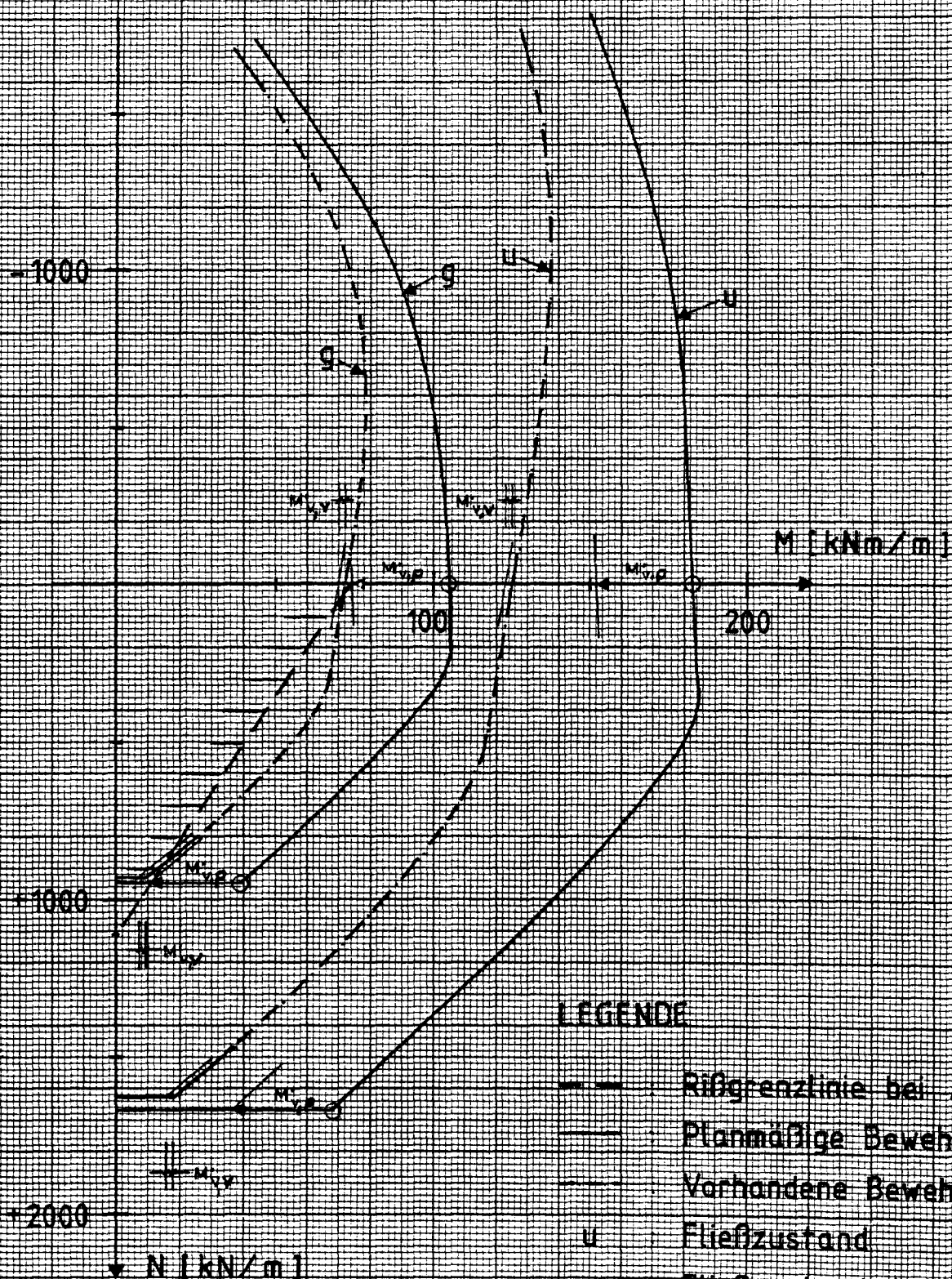
Ergebnis:

$$\sigma_{v,t=1000d} \approx 307 (1 - 0,092) \approx 279 \text{ kN / Spannungsglied}$$

$$\sigma_{z,t=1000d} \approx 279 / 4,68 = 59,6 \text{ kN / m}^2$$

ANLAGE 5.6:

TRAGFÄHIGKEIT DER ZYLINDERSCHALE



LEGENDE

- Rißgrenzlinie bei A_s vorh.
- Planmäßige Bewehrung
- Vorhandene Bewehrung
- u Fließzustand
- g Fließzustand / γ^*
- γ^* Sicherheitsbeiwert nach DIN 1045
- $M_{y,p}$ bei A_s planm.
- $M_{y,v}$ bei A_s vorh.

Baustoff	Festigkeit	E-Modul in MN/m ²	$n = \frac{E_s}{E_b}$
Beton	B ~ 30	~ 32 000	
Stahl	BSt 420/500 R St 1420/1570	2 10 000	6,56

	$A_{si} = A_{sa} \approx 2,51 \text{ cm}^2/\text{m}$
	$A_z = \frac{4,8}{0,45} = 10,6 \text{ cm}^2/\text{m}$
	$Z_{v,t} = \frac{280}{0,45} \approx 620 \text{ kN/m}$ $\frac{Z_{v,t}}{A_{bi}} = \frac{620}{0,259} \approx 2400 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Querschnittswerte		
A_{bi}	m ² /m	0,259
y_{bi}	cm	12,6
I_{bi}	m ⁴ /m	$13,4 \cdot 10^{-4}$
$W_{bi, \text{innen}}$	m ³ /m	$10,6 \cdot 10^{-3}$
$W_{bi, \text{außen}}$	m ³ /m	$10,8 \cdot 10^{-3}$

Betonzugfestigkeit nach Rüschi [25] : $\beta = c \cdot 0,464 \sqrt[3]{\beta_{WN}^2}$						
	c 5%	β 5%	Dim.	c 50%	β 50%	Dim.
Zugfestigkeit β_Z	0,42	1,88	N	0,69	3,05	N
Biegezugfest. β_{BZ}	1,00	4,48	mm ²	1,43	6,47	mm ²

Rißschnittgrößen	Dimension	5% Fraktile	50% Fraktile
$Z_R = \beta_Z \cdot A_{bi} + Z_{v,t}$	kN/m	1110	1420
$M_R = (\beta_{BZ} + \frac{Z_{v,t}}{A_{bi}}) \cdot W_{bi, \text{au.}}$	kNm/m	74	95

Anlage 5.7: Rißschnittgrößen

Allg. Formeln

$$\Delta T_w = \frac{g_{\Delta T} \cdot d}{d + \lambda \left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_a} \right)}$$

$$M_{\Delta T}^{\pm} = \frac{E_b \cdot J_{bi} \cdot \alpha_T \cdot \Delta T_w}{d(1-\nu)}$$

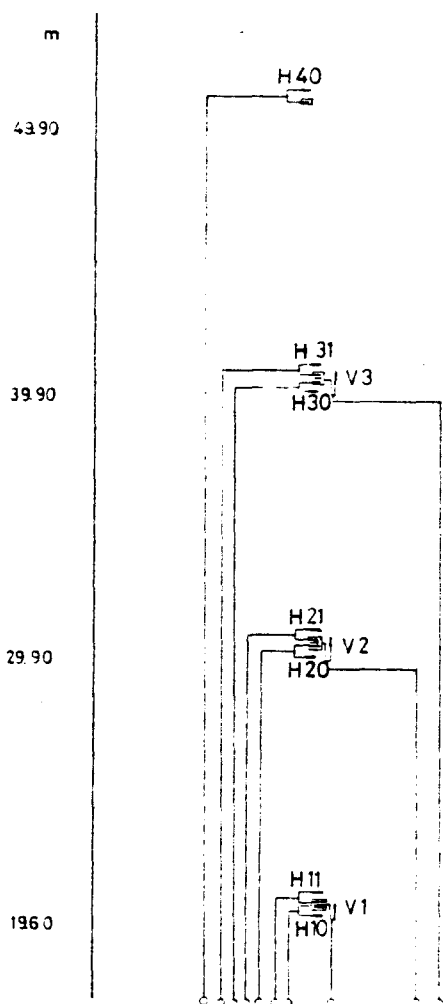
Parameter	Dimension	
T_i	$^{\circ}\text{C}$	~ 30 (lt. Messung)
T_a	$^{\circ}\text{C}$	~ 5
$g_{\Delta T} = T_i - T_a$	$^{\circ}\text{C}$	~ 25
$\lambda \text{ Beton}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{m} \cdot \text{s} \cdot ^{\circ}\text{C}}$	$\sim 1,74$
$\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_a}$	$\frac{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot ^{\circ}\text{C}}{\text{kcal}}$	$\sim 0,2$
α_T	$1/^{\circ}\text{C}$	10^{-5}
b	m	$1,00$
d	m	$0,25$
J_{bi}	m^4/m	$13,4 \cdot 10^{-4}$
E_b	MN/m^2	$3,2 \cdot 10^4$
ν	-	$\sim 0,20$

Ergebnisse

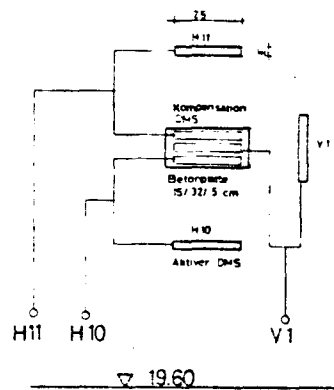
$$\Delta T_w \approx 10,5 ^{\circ}\text{C}$$

$$M_{\Delta T}^{\pm} \approx 23 \text{ kNm/m}$$

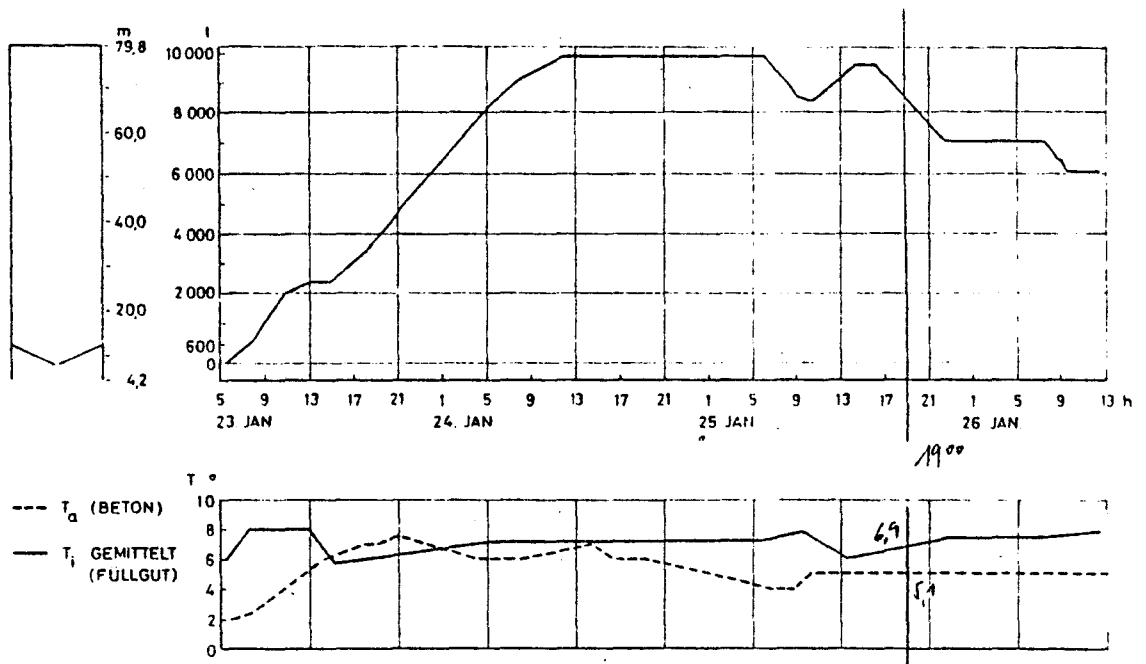
Anlage 5.8 : Temperaturzwang



MESSEINRICHTUNG



GANGLINIEN DES ZELLENINHALTS UND DER TEMPERATUREN



ANLAGE 5.9: MESSSTELLEN

ANLAGE 5.10: MESSWERTE NACH [15] IN SKT

ZEIT		MESSSTELLENBEZEICHNUNG									
		H 10	H 11	V 1	H 20	H 21	V 2	H 30	H 31	V 3	H 40
25. Januar	18 ³⁰	105	202	-804	-185	-121	780	—	+1011	-313	641
	19 ⁰⁰	96	186	-761	-193	-117	797	—	+1080	-258	700
	19 ³⁰	88	178	-739	-198	-128	834	—	+930	-239	755
	20 ⁰⁰	76	174	-702	-208	-143	855	—	+646	-313	730
	20 ³⁰	69	160	-662	-248	-186	928	—	+452	-295	658
	21 ⁰⁰	56	153	-613	-297	-269	972	—	+177	-461	545
	21 ³⁰	—	126	-581	-288	-267	956	+ 41	+150	-440	429
	21 ⁴⁰	—	118	-576	-228	-276	955	+ 26	+139	-453	411
	22 ⁰⁰	47	123	-575	-317	-273	980	+ 23	+137	-436	392
		Silo in Ruhe			Entleerung Ende				Peilung ~21 m		
	23 ⁰⁰	46	123	-577	-321	-273	968	+ 23	+137	-412	371
26. Januar	1 ⁰⁰	48	122	-586	-321	-271	962	+ 9	+118	-412	338
	3 ⁰⁰	50	124	-587	-316	-262	948	+ 8	+115	-394	305
	5 ⁰⁰	55	125	-581	-313	-262	946	+ 4	+105	-399	299
	6 ⁰⁰	58	125	-583	-236	-228	908	+ 10	+116	-378	311
		Entleerung Beginn				~ 550 t/Std			Peilung ~21 m		
	6 ³⁰	—	130	-576	—	-248	953	-20	+ 87	-383	324
	7 ⁰⁰	—	128	-523	—	-309	994	-24	+ 26	-339	266
	7 ³⁰	—	121	-503	—	-313	1028	-50	- 2	-355	209
	8 ⁰⁰	—	116	-490	—	-304	1042	+ 1	+ 40	-303	198
		Entleerung Ende				Peilung ~28 m					
	9 ⁰⁰	—	112	-470	—	-315	1048	0	+ 44	-273	208

Meßwerte (25.1.74 - 9⁰⁰ - Abt. 5.10): $\sigma_y = 1080 \text{ SKT}$
 $\sigma_x = -258 \text{ SKT}$

Nullpunkt drift:

am 26.1. um 8⁰⁰ (nach 75 Std.): $\sigma_y = 198 \text{ SKT}$

am 28.1. um 19⁰⁰ (nach 62 Std.): $\sigma_y \frac{62}{75} \approx 165 \text{ SKT}$

Beringte Meßwerte

$$\bar{\sigma}_y \approx 1080 - 165 = 915 \text{ SKT}$$

$$\bar{\sigma}_x \approx -258 - 165 = -423 \text{ SKT}$$

Beringte Dehnungen

($\nu = 0,2$)

$$\bar{\sigma}_y = 915 = \sigma'_y - 0,2 \sigma'_x$$

$$\bar{\sigma}_x = -423 = \sigma'_x - 0,2 \sigma'_y \quad \Rightarrow \sigma'_y = 865 \text{ SKT}$$

Mit $\varepsilon'_y = k \cdot \sigma'_y$ und

$$k = \text{const.} = 0,19 \cdot 10^{-6} \quad \Rightarrow \varepsilon'_y \approx 164 \cdot 10^{-6}$$

Temperaturkompensation

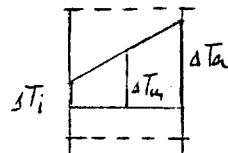
$$\Delta T_a = 5,7 - 2 = 3,7^\circ \text{C} \quad (\text{Abt. 5.9}) \quad \text{wurde kompensiert.}$$

Dagegen

$$\Delta T_i = 6,9 - 6,0 = 0,9^\circ \text{C} \quad \text{war}$$

$$\Delta T_m \approx (3,7 - 0,9) \cdot 0,5$$

$$\approx 1,4^\circ \text{C} \quad \text{zu kompensieren.}$$



Korrektur: $\Delta \varepsilon'_y \approx 1,7 \cdot 10^{-5}$

Druckkoordinaten:

Annahme tot. symm. Druckes

$$p_h = \frac{E \cdot F_{0i}}{t} \cdot \varepsilon'_y$$

$$\text{Mit } F_{0i} \approx 0,259 \text{ m}^2$$

$$E \approx 3,2 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2$$

$$t \approx 7,82 \text{ m}$$

Wird

$$p_h(\varepsilon'_y) = 164 \cdot 10^{-6} \cdot 10,53 \cdot 10^5 \approx 173 \text{ kN/m}^2$$

$$p_h(\Delta \varepsilon'_y) = 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot 10,53 \cdot 10^5 \approx 17 \text{ kN/m}^2$$

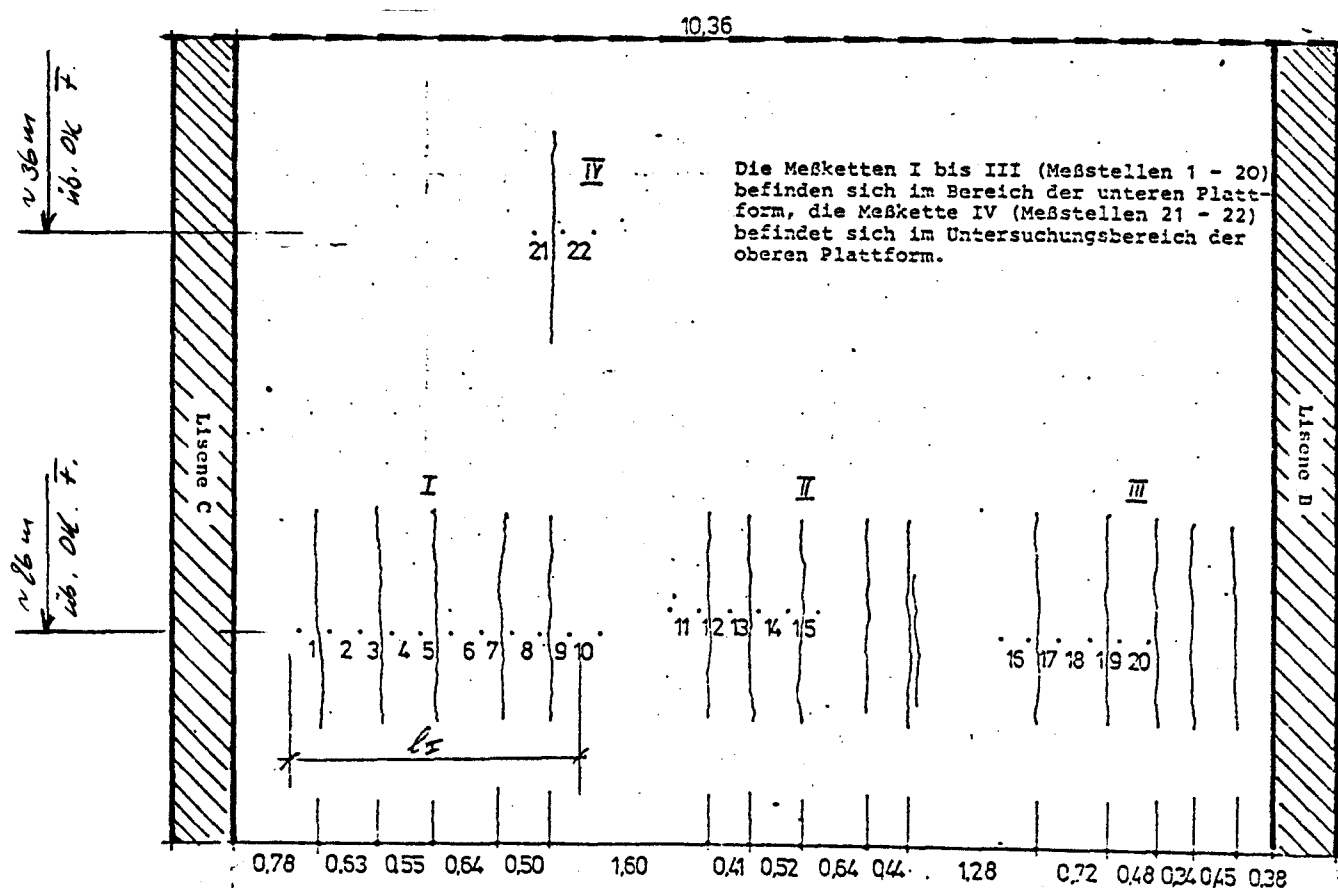
$$\Sigma p_h \approx 184 \text{ kN/m}^2$$

Nullpunkt drift und Mittelwertdruck

$$198 \text{ SKT} \approx \varepsilon_y \approx 198 \cdot 0,19 \cdot 10^{-6} = 37,62 \cdot 10^{-6}$$

$$p_h(\varepsilon_y) \approx 37,62 \cdot 10^{-6} \cdot 10,53 \cdot 10^5 \approx 40 \text{ kN/m}^2$$

Riß in Meßstrecke Nr.	Rißweiten			
	Silo voll [mm]	Entleert auf 40 m Füllhöhe [mm]	Entleert auf 30 m Füllhöhe [mm]	Entleert auf 20 m Füllhöhe [mm]
1	0,35	0,25	0,05	~0,05
3	0,50	0,40	0,05	~0,05
5	1,00	0,80	0,20	~0,05
7	0,50	0,40	0,05	~0,05
9	1,00	0,75	0,10	~0,05
12	0,20	0,10	-	-
13	<0,20	-	-	-
15	<0,20	-	-	-
17	0,90	0,70	0,20	0,20
19	0,40	0,30	-	-
21	0,30	0,10	-	-



ANLAGE 5.12: MESSERGEBNISSE AM GERISSENEN BAUWERK [14]

$$t_{v,t=1000} = 278 \text{ kN / Sprengl. ed}$$

$$s = 0,45 \text{ m}$$

$$A_2 = 4,68 \text{ m}^2$$

$$E_b \approx 3,2 \cdot 10^4 \text{ MN/m}^2$$

$$E_z = 2,7 \cdot 10^5 \text{ MN/m}^2$$

Annahme 1: Kein Verbund auf l_I (Anlage 5.12) !

Zugkraft:

- aus Vordehnung : $t_v' = 278 / 0,45 \approx 620 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

- aus Beton druckspannungsabbau (Zustand I) : $\Delta t_I \approx \frac{t_v' \cdot E_s \cdot A_2}{A_b \cdot E_b \cdot s}$

$$= \frac{620 \cdot 210 \cdot 4,68 \cdot 10^{-4}}{0,25 \cdot 32 \cdot 0,45} \approx 17 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

- im gerissenen Zustand II : $\Delta t_I \approx \frac{E \cdot A_2 \cdot \varepsilon_w}{s \cdot l_I}$

$$= \frac{2,7 \cdot 4,68 \cdot 10^{-4} \cdot 0,00335}{0,45 \cdot 2,90} \approx 253 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$\Sigma Z \approx 890 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

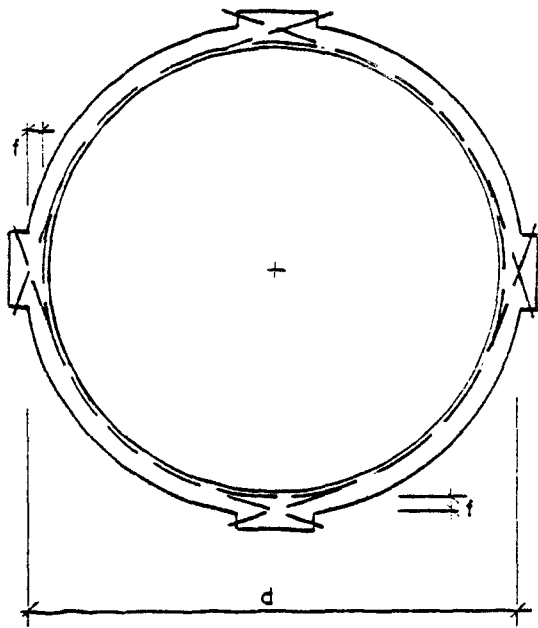
Horizontaldruck: $p_h^1 = \frac{Z}{r} = 890 / 7,875 \approx 113 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

Annahme 2: Kein Verbund auf $\frac{1}{3} \cdot l_I$!

Zugkraft: $\Sigma Z = 620 + 17 + 3 \cdot 253 \approx 1396 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Horizontaldruck: $p_h^2 = \frac{Z}{r} = 1396 / 7,875 \approx 177 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$

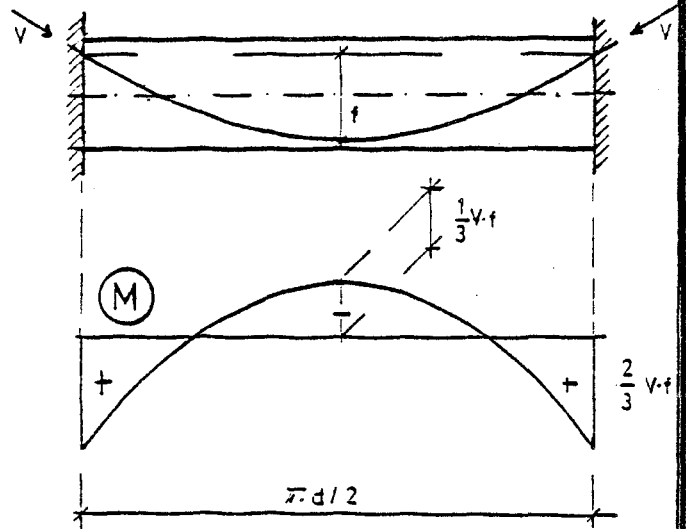
Anlage 5.13: Umrechnung von Meßwerten nach [14]



Annahme:

parabol. Spanngliedlage

Ersatzsystem:



Schnittgrößen:

Annahme:

Die Anker benachbartes Spannglieder sind um einen Viertelkreis $\pi =$ gegeneinander versetzt.

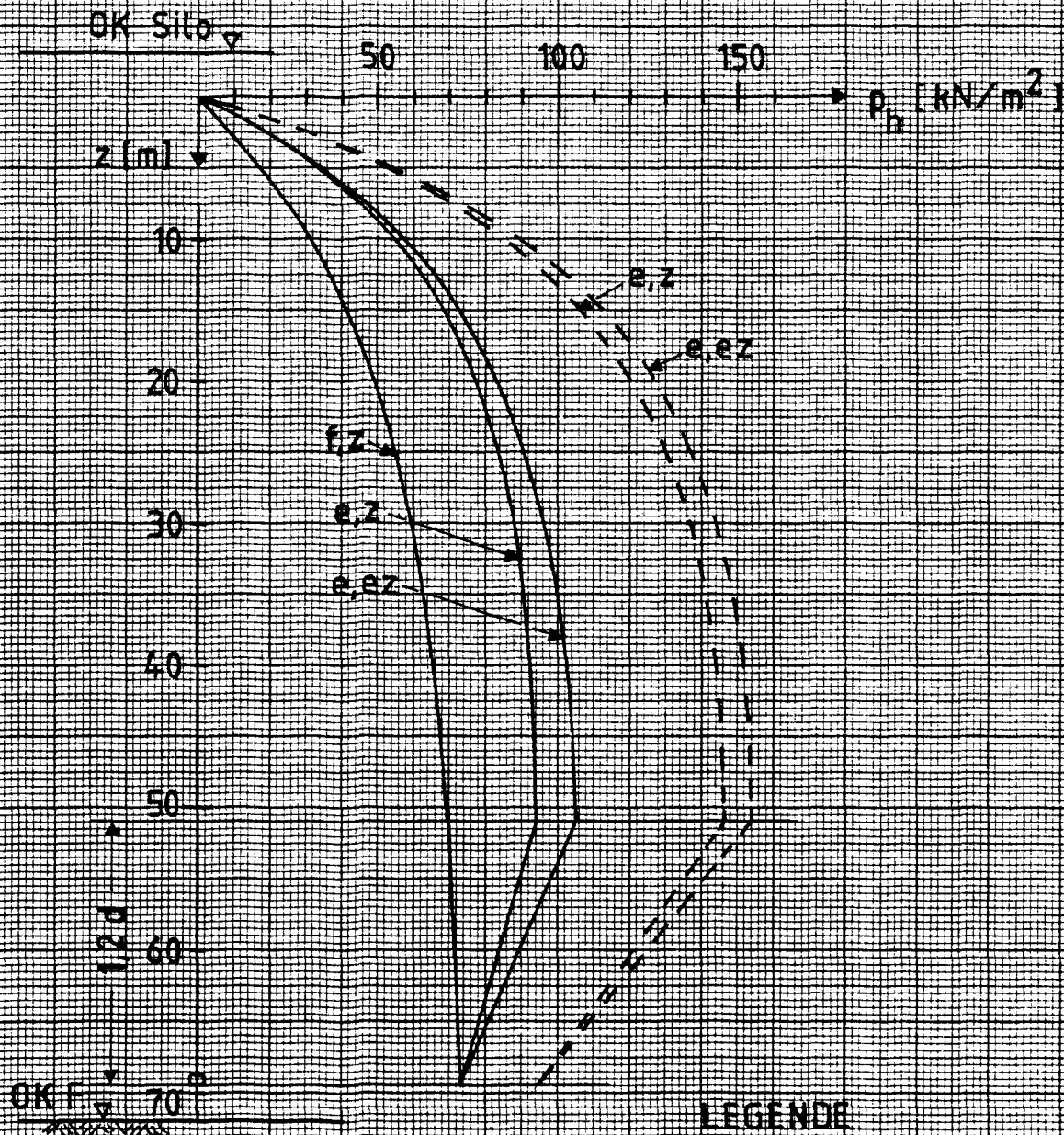
$$M \approx 0,5 \cdot V \left(\frac{2}{3} f - \frac{1}{3} f \right) = \frac{1}{6} \cdot V \cdot f$$

Mit $V \approx 620 \text{ kN/m}$ und
 $f < 0,20 \text{ m}$ wird

$$M \approx \frac{1}{6} \cdot 620 \cdot 0,20 \approx \underline{\underline{20 \text{ kNm/m}}}$$

Anlage 5.14 : Schnittgrößen aus
unplanmäßiger Spannglieder-
führung

HORIZONTALDRUCK VON MAIS NACH BERECHNUNGSVORSCHRIFTEN



LEGENDE

- DIN 1055, Blatt 6
- - - Ergänzende Bestimmungen zu DIN 1055, Blatt 6
- f,z : Füllung, zentrisch
- e,z : Entleerung, zentrisch
- e,e,z : Entleerung, exzentrisch

Parameter	Dim.	10JS-6 (11.64)	10JS-1 (7.78)	EB	Abm. ent. = wert : 11.7.
μ	MN/m^3	8,0	8,0	8,0	8,0
φ	°	30	30	30	31
s_f	°	22,5	22,5	22,5	-
$M_f = \tan s_f$	-	0,414	0,414	0,414	0,40
s_e	°	18	18	18	-
$M_e = \tan s_e$	-	0,325	0,325	0,325	-
γ_a	-	-	-	-	-
γ_f	-	0,50	0,50	0,50	0,60
γ_e	-	1,00	1,00	1,00	-
H/U	m	3,875	3,875	3,875	3,875
l	m	$\sim 1,80$	$\sim 1,80$	$\sim 1,80$	-
H_i/U_i	m	4,37	-	-	-
C_z (EB)	-	-	-	$1,3 \cdot 1,2 = 1,56$	-
C_{Ez} (EB)	-	-	-	$1,3 \cdot 1,262 = 1,64$	-
C_M (NE-11)	-	-	-	-	1,4
C_b (NE-11)	-	-	-	-	1,7

Erreichtbarkeit:

Verstopfung eines
Auslaufes:

$$\underline{\underline{l \approx 1,80 \text{ m}}}$$

Erreichthöhe
für Schlammtragel:

$$\begin{aligned}
 \Delta h &= \frac{2}{3} r \cdot \tan \varphi \\
 &= \frac{2}{3} \cdot 7,75 \cdot \tan 30^\circ \\
 &= \underline{\underline{3,00 \text{ m}}}
 \end{aligned}$$

Maß

$$\sigma = p_L \cdot r \approx 7,875 \text{ pN}$$

		max p_L	max σ	max $\sigma / t_{L,2} (10^{-5} \text{ G})$
		MN/m^2	MN/m	—
DIN 1055, Bl. 6	Füllen, elektrolyt.	73,1	576	0,78
	Entleeren, elektr.	94,7	747	1,0
	Entleeren, exsentr.	105	827	1,12
Erg. Best.	Entleeren, zentr.	147	1158	1,56
	Entleeren, exsentr.	154	1273	1,64
Normwerte, 11. F.	Füllen, elektrolyt.	76,5	602	0,87
	Entleeren, zentr.	107	843	1,14
Messung	Entleeren	177 - 184	1394 - 1450	1,86 - 1,93

Anlage 5.17 : Max. Horizontaldruck und Ringzugkraft

A

Lastansatz : $\Delta p_L = \alpha \cdot \max p_L \cdot \cos 2\varphi$

Schnittgrößen nach [17] :

$M_i = m_i \cdot \alpha \cdot \frac{r^2}{3} \cdot \max p_L = m_i^* \cdot \max p_L$

$N_i = n_i \cdot \alpha \cdot \frac{r}{3} \cdot \max p_L = n_i^* \cdot \max p_L$

$r \approx 7,875 \text{ m}$

$E \approx 3,0 \cdot 10^7 \text{ kN/m}^2$
 $J \approx 1392 \cdot 10^{-4} \text{ m}^4/\text{m}$

$B = EJ/(1-\nu^2) \approx 40690 \text{ kN/m}^2$

Hilfswerte :

$C_{b1} = 1 \text{ MN/cm}^2$

α	9,73
μ	2,10
φ_u	65°

$C_{b2} = 10 \text{ MN/cm}^2$

α	30,8
μ	3,86
φ_u	45°

C_b	m_f	m_f^*			m_u	m_u^*		
		$\alpha=0,70$	$\alpha=0,20$	$\alpha=0,30$		$\alpha=0,70$	$\alpha=0,20$	$\alpha=0,30$
0	-1,0	-2,02	-4,73	-6,20	1,0	2,02	4,73	5,20
1	-0,27	-0,56	-1,12	-1,62	0,76	0,33	0,66	0,95
10	-0,09	-0,19	-0,32	-0,56	0,06	0,12	0,25	0,32

C_b	n_f	n_f^*			n_u	n_u^*		
		$\alpha=0,70$	$\alpha=0,20$	$\alpha=0,30$		$\alpha=0,70$	$\alpha=0,20$	$\alpha=0,30$
0	1,0	0,26	0,52	0,73	1,0	0,26	0,52	0,73
1	1,2	0,37	0,63	0,95	1,35	0,35	0,71	1,06
10	1,55	0,45	0,92	1,45	1,75	0,57	1,02	1,54

LASTANSATZ UND MOMENTENLINIE BEI $C=10 \text{ MN/m}^2$ UND $\alpha=0,3$

B

Lastansatz : $\Delta p_L = \alpha \cdot \max p_L \cdot \cos 2\varphi$

Schnittgrößen, erm. mit FEM Programm :

$$\max_{\text{mit}} M \approx \pm 0,0111 \cdot \alpha \cdot r^2 \cdot \max p_L = m^* \cdot \max p_L$$

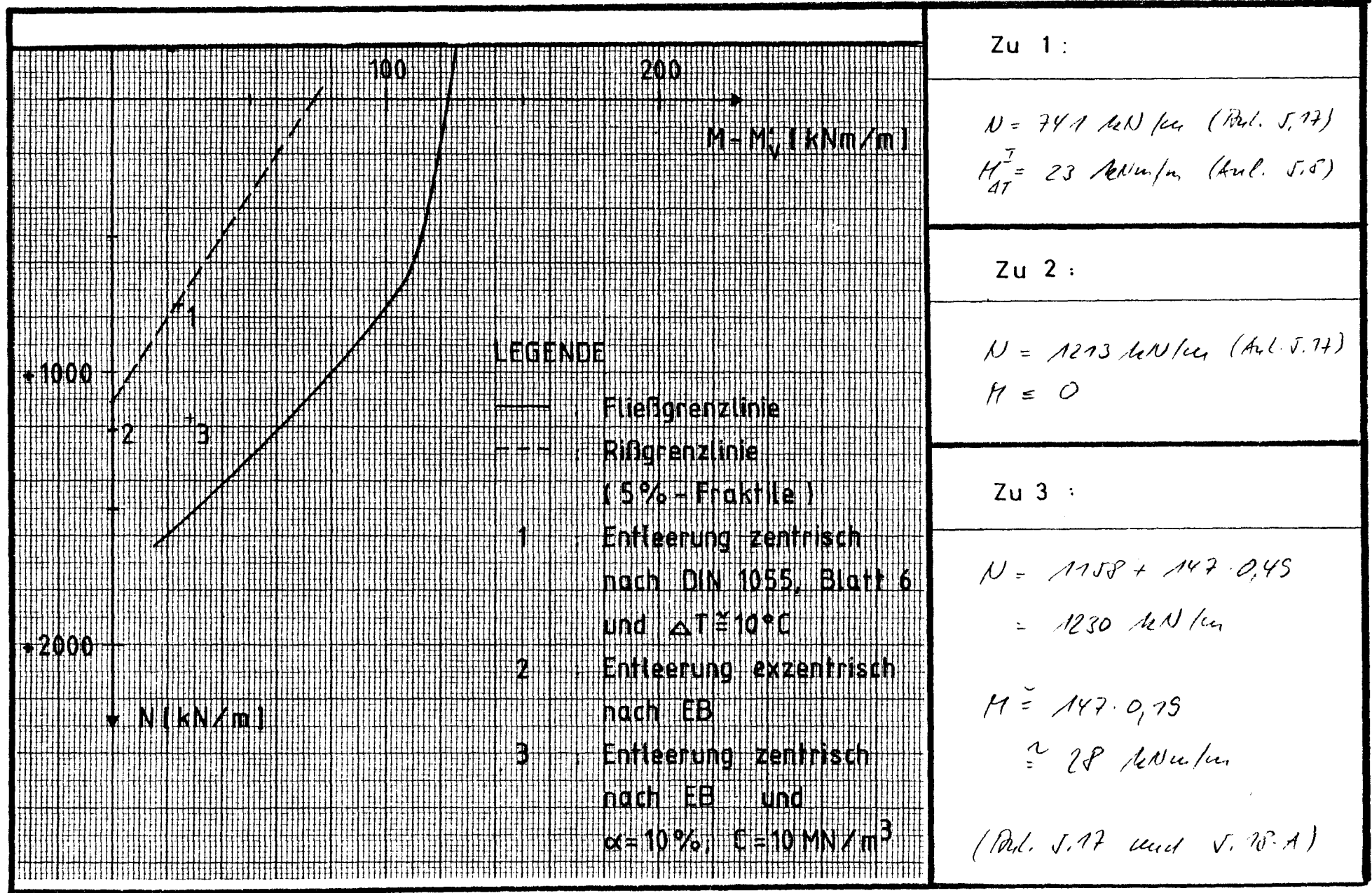
$$\max \Delta N \approx 0,057 \cdot \alpha \cdot r \cdot \max p_L = n^* \cdot \max p_L$$

$$\text{Stützweite } f_{fs} : E_s = 30 \text{ MN/cm}^2$$

$$\text{Radius} : r \approx 7,875 \text{ m}$$

	$\alpha = 0,70$	$\alpha = 0,20$	$\alpha = 0,30$
m^*	0,02	0,135	0,202
n^*	0,044	0,088	0,132

Anlage 5.18 : Schnittgrößen aus Druckumlagerung



Zu 1 :

$$N = 74,1 \text{ kN/cm} \quad (\text{Bul. 5.17})$$

$$M_{AT}^I = 23 \text{ kNm/m} \quad (\text{Bul. 5.5})$$

Zu 2 :

$$N = 1213 \text{ kN/cm} \quad (\text{Bul. 5.17})$$

$$M = 0$$

Zu 3 :

$$N = 1158 + 147 \cdot 0,45$$

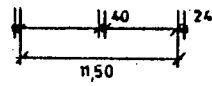
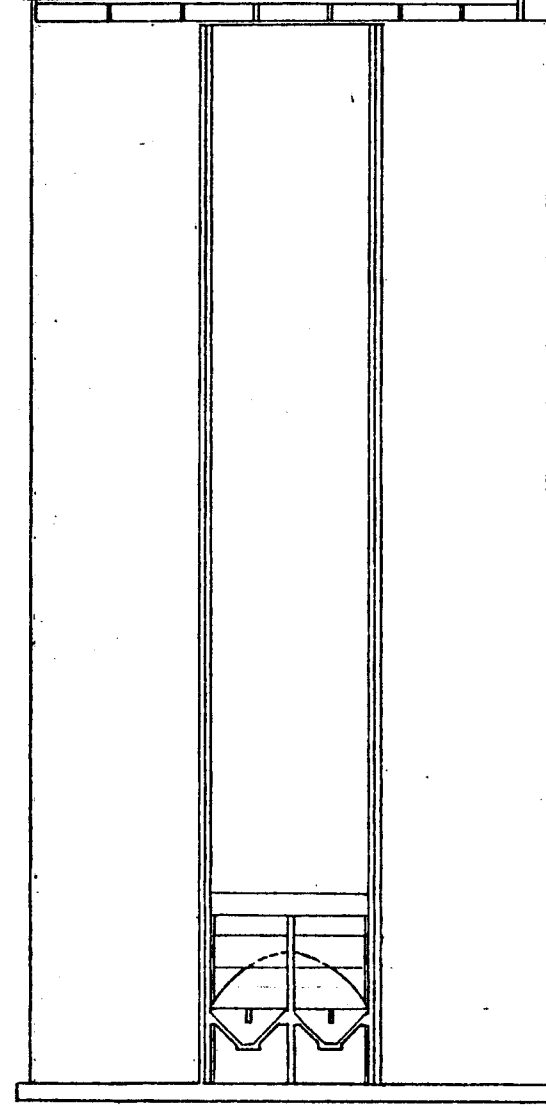
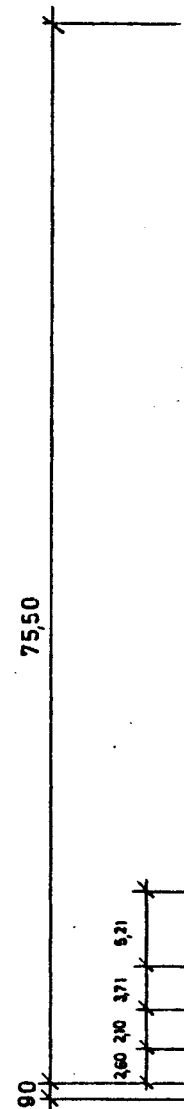
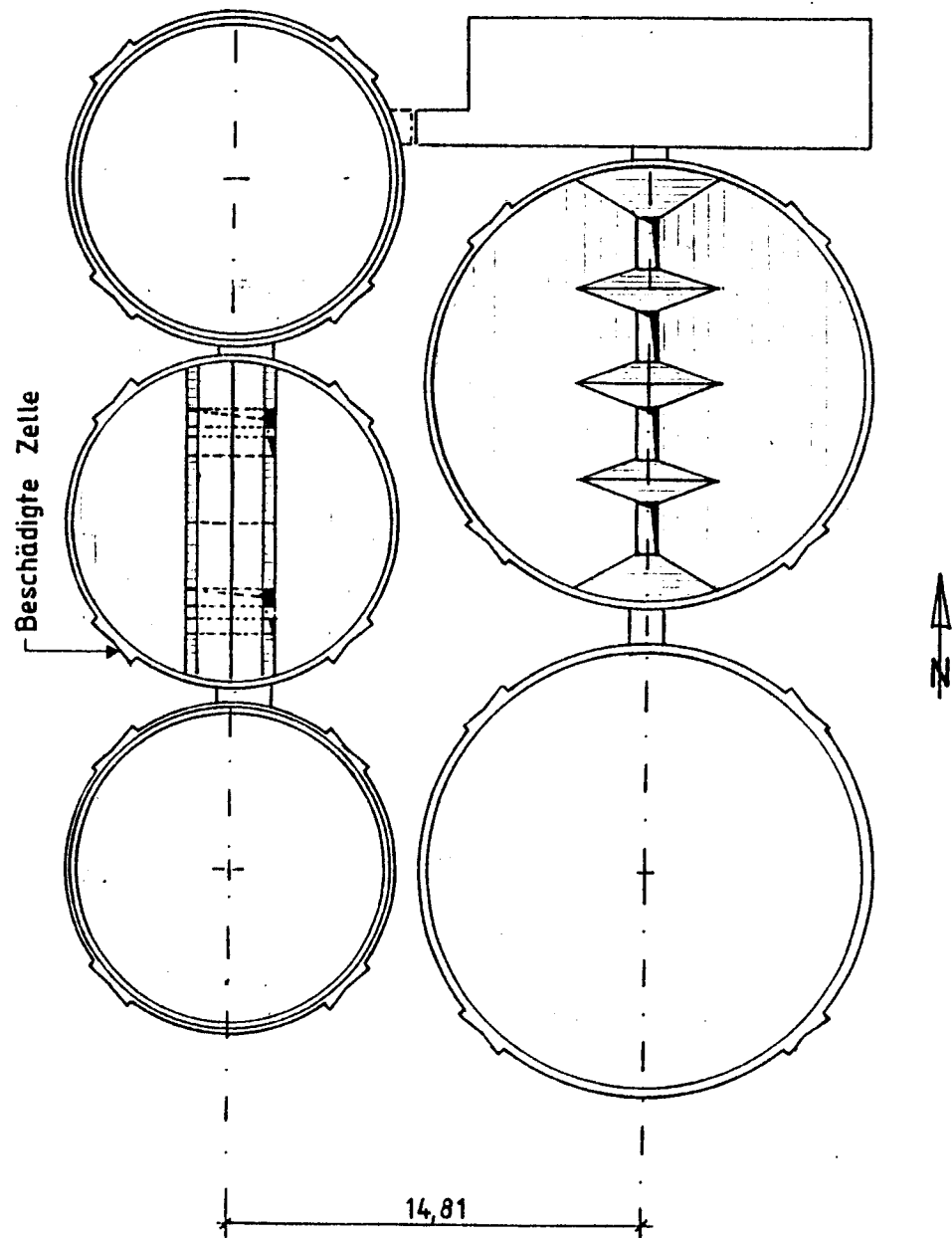
$$= 1230 \text{ kN/cm}$$

$$M = 147 \cdot 0,75$$

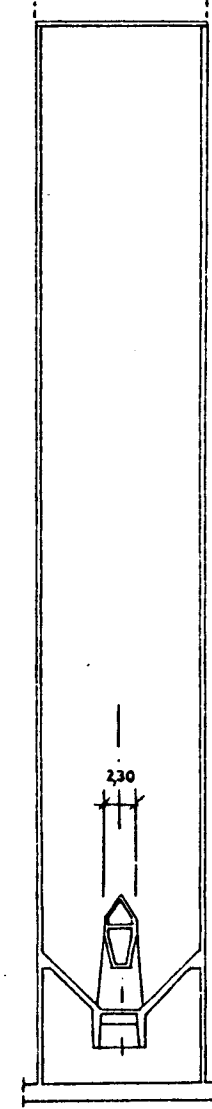
$$\approx 28 \text{ kNm/cm}$$

(Bul. 5.17 und 5.18 A)

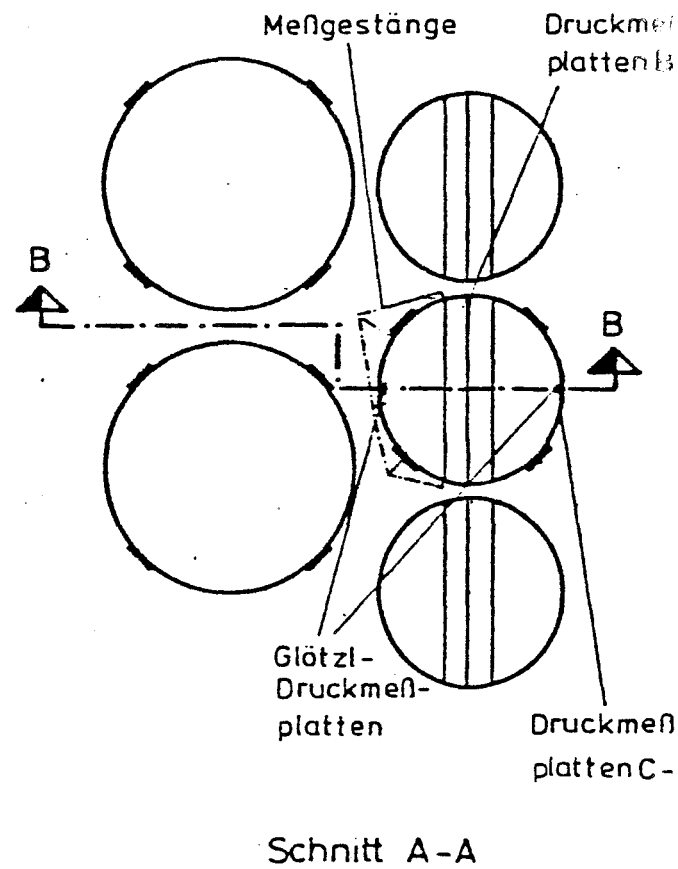
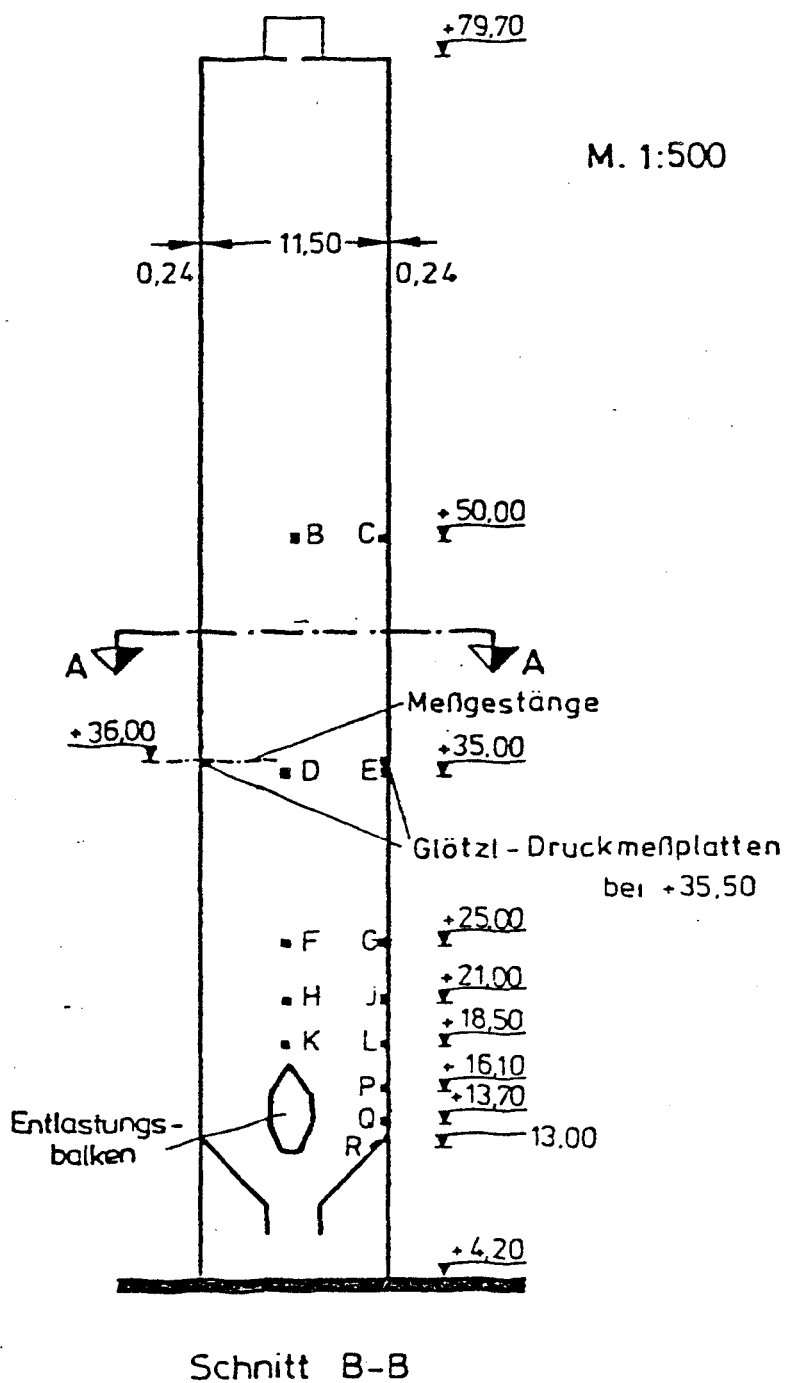
Anlage 5.19 : Rißbeanspruchungen



SNITT A-A

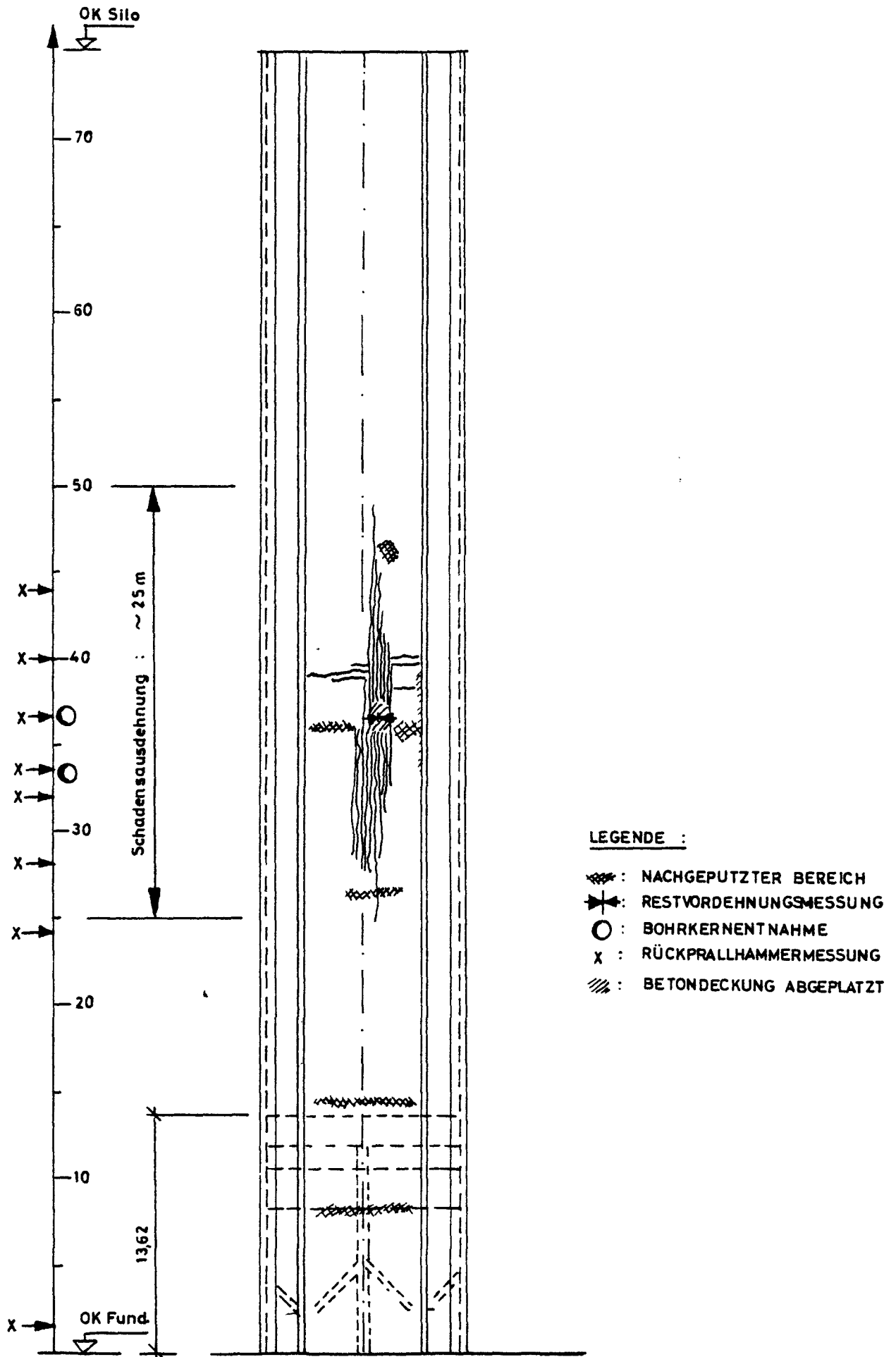


SNITT B-B

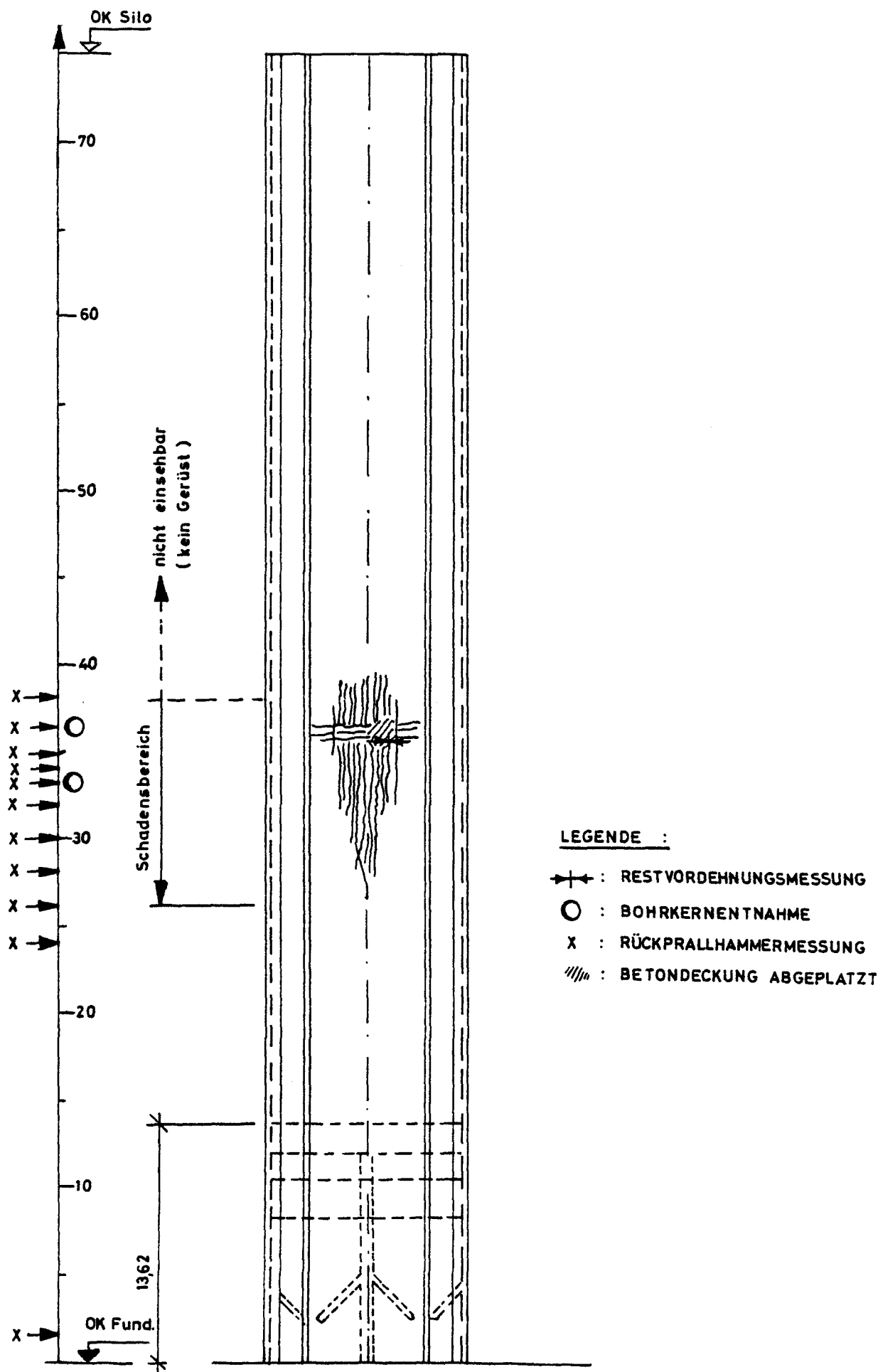


ANLAGE 6.2: MESSSTELLENANORDNUNG

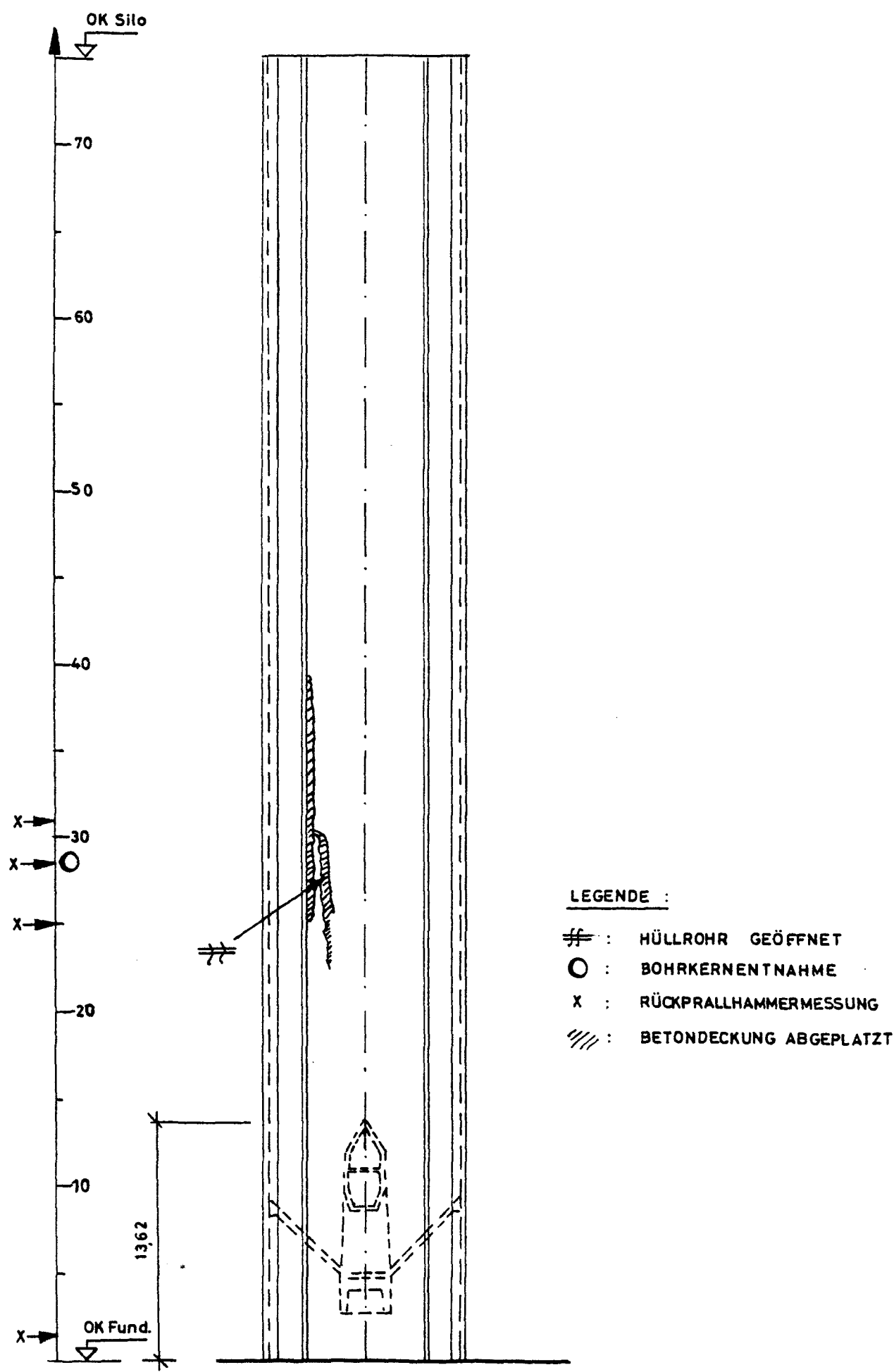
ANLAGE 6.3: SCHADEN AUF WESTSEITE



ANLAGE 6.4 : SCHADEN AUF OSTSEITE



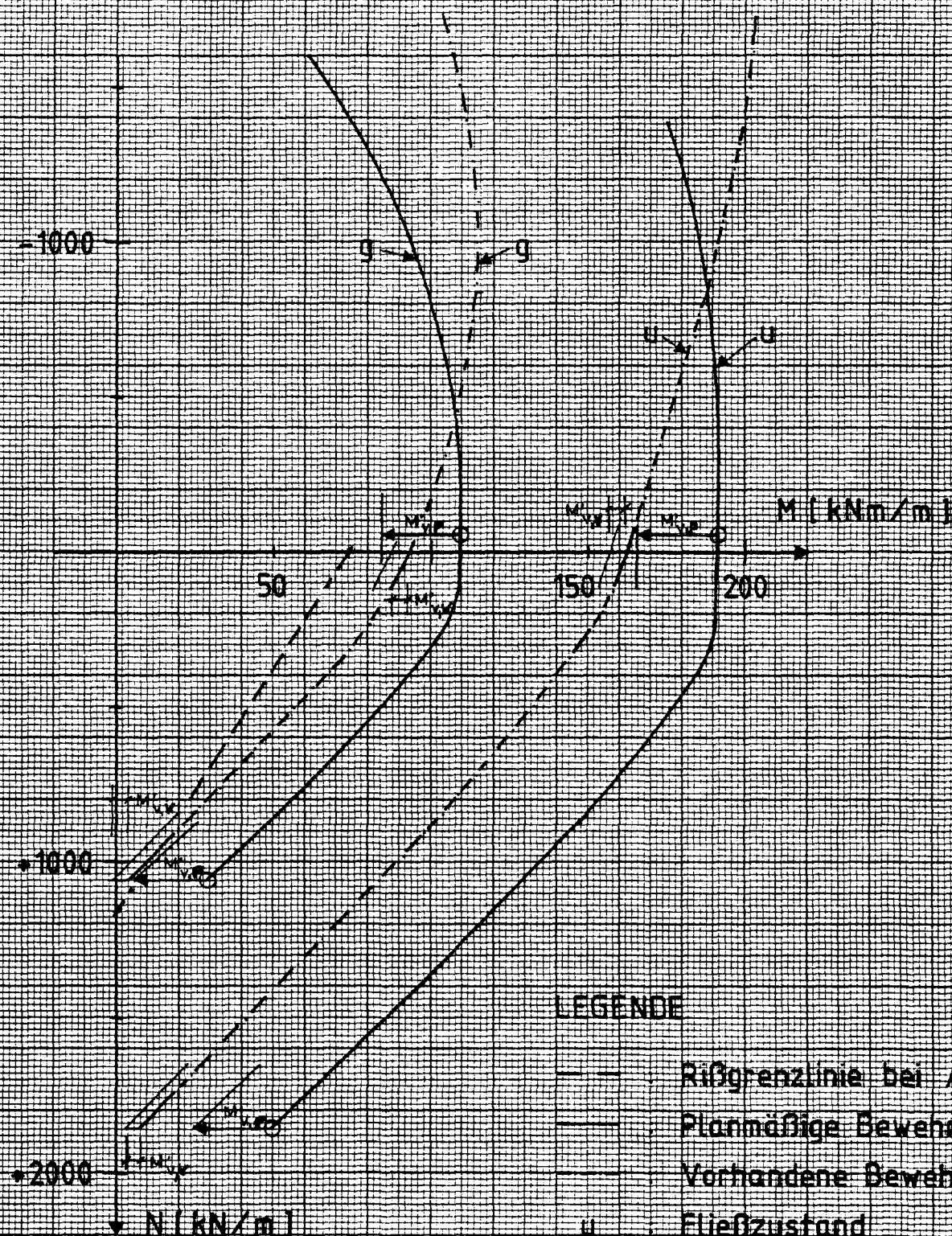
ANLAGE 6.5 : SCHADEN AN LISENE



PLANMÄSSIGE BEWEHRUNGSANORDNUNG	AUSGEFÜHRTE BEWEHRUNGSANORDNUNG AUSSENSEITE
<p>2⁵ 5²</p> <p>R →</p> <p>III ϕ 12, s = 15</p> <p>AK 41, s = 50</p> <p>B 25</p> <p>7⁷</p> <p>24</p>	<p>2⁵ 5²</p> <p>R →</p> <p>III ϕ 12, s_i M. \approx 15</p> <p>10⁷</p> <p>23</p> <p>B 40</p>
<p>Spannstahl: St 1420 / 1570, $A_s = 4,68 \text{ cm}^2$</p> <p>bei $f_{yk} \approx 472 \text{ N/mm}^2$, $f_{yk, \infty} \approx 305 \text{ N/mm}^2$</p>	

Stoßlängen:

ϕ [mm] \ l_{st} [cm]	planmäßig	DIN 1045 (12.78), Abs. 18	
		Bereich I	Bereich II
12 III	≥ 75	40	80
— ohne Längsverst. gestopft: $\leq 50\%$		— Abschlusst. nicht verst. Stöße $\geq 100\%$	



Baustoff	Festigkeit	E-Modul in MN/m ²	$n = E_s/E_b$
Beton	B ~ 40	~ 35500	5,91
Stahl	BH 420/500 R St 1420/1570	210 000	

$$A_{si} = A_{sa} = 7,54 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_z = \frac{468}{0,50} = 9,36 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$Z_{v,t} = \frac{305}{0,5} = 610 \text{ kN/m}$$

$$\frac{Z_{v,t}}{A_{bi}} = \frac{610}{0,242} = 2521 \text{ kN/cm}^2$$

Querschnittswerte		
A_{bi}	m ² /m	0,242
y_{bi}	cm	11,2
I_{bi}	m ⁴ /m	$10,66 \cdot 10^{-4}$
$W_{bi, \text{innen}}$	m ³ /m	$9,48 \cdot 10^{-3}$
$W_{bi, \text{außen}}$	m ³ /m	$9,02 \cdot 10^{-3}$

Betonzugfestigkeit nach Rüschi [25] : $\beta = c \cdot 0,464 \sqrt[3]{\beta_{WN}^2}$						
	c 5%	β 5%	Dim.	c 50%	β 50%	Dim.
Zugfestigkeit β_Z	0,42	2,28	N	0,66	3,58	N
Biegezugfest. β_{BZ}	0,99	5,37	mm ²	1,37	7,43	mm ²

Rißschnittgrößen	Dimension	5% Fraktile	50% Fraktile
$Z_R = \beta_Z \cdot A_{bi} + Z_{v,t}$	kN/m	1162	1476
$M_R = (\beta_{BZ} + \frac{Z_{v,t}}{A_{bi}}) \cdot W_{bi, \text{au.}}$	kNm/m	~ 72	~ 90

Anlage 6.8 : Rißschnittgrößen

Allg. Formeln

$$\Delta T_w = \frac{g_{\text{sd}} \cdot T \cdot d}{d + \lambda \left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_a} \right)}$$

$$M_{\Delta T}^{\text{F}} = \frac{E_b \cdot J_{bi} \cdot \alpha_T \cdot \Delta T_w}{d(1-\nu)}$$

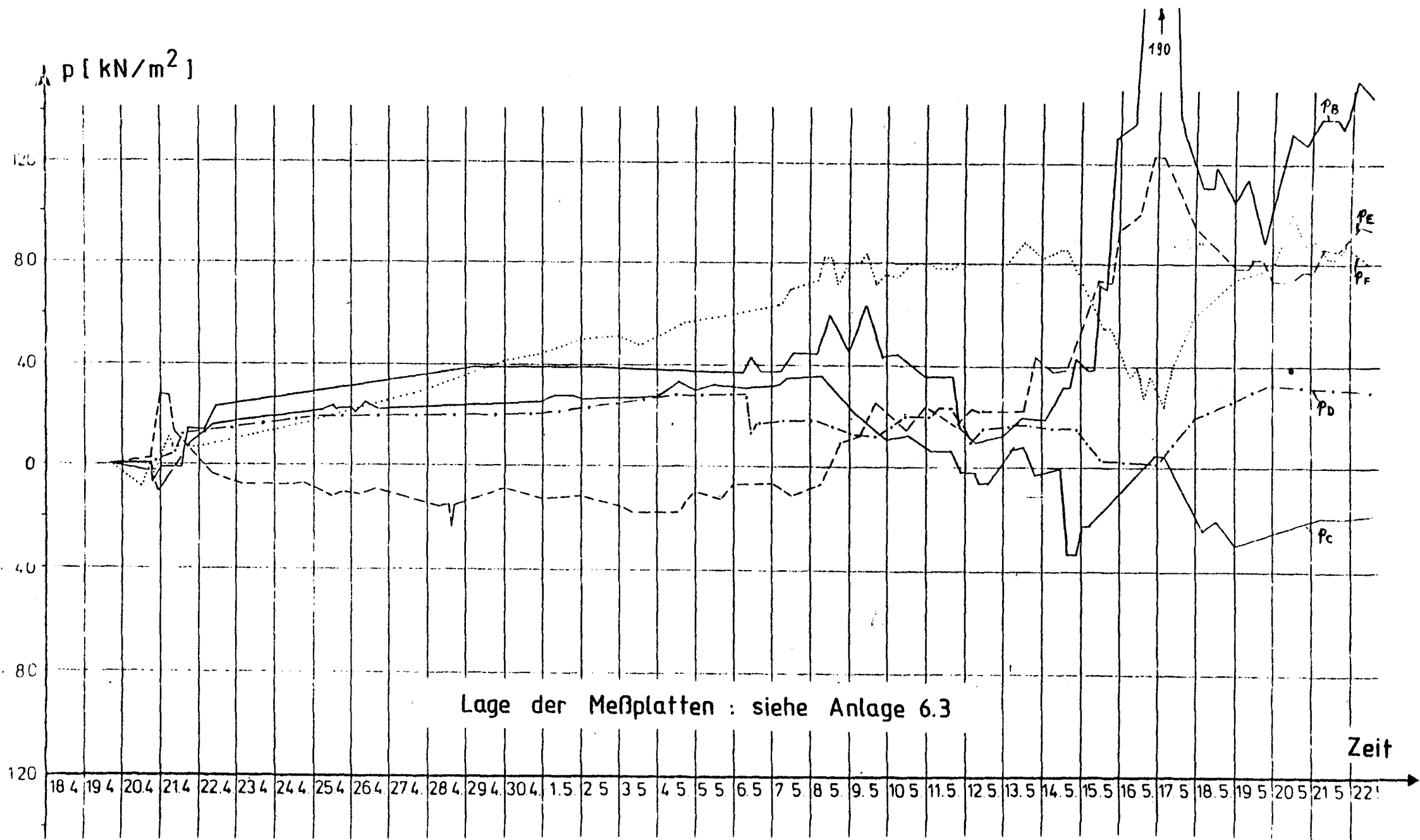
Parameter	Dimension	
T_i	$^{\circ}\text{C}$	~ 35
T_a	$^{\circ}\text{C}$	-5
$g_{\text{sd}} T = T_i - T_a$	$^{\circ}\text{C}$	40
$\lambda \text{ Beton}$	$\frac{\text{kcal}}{\text{m} \cdot \text{s} \cdot ^{\circ}\text{C}}$	$\sim 1,74$
$\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_a}$	$\frac{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot ^{\circ}\text{C}}{\text{kcal}}$	$\sim 0,2$
α_T	$1/^{\circ}\text{C}$	10^{-5}
b	m	$1,0$
d	m	$0,23$
J_{bi}	m^4/m	$10,66 \cdot 10^{-4}$
E_b	MN/m^2	$3,55 \cdot 10^4$
ν	$-$	$0,20$

Ergebnisse

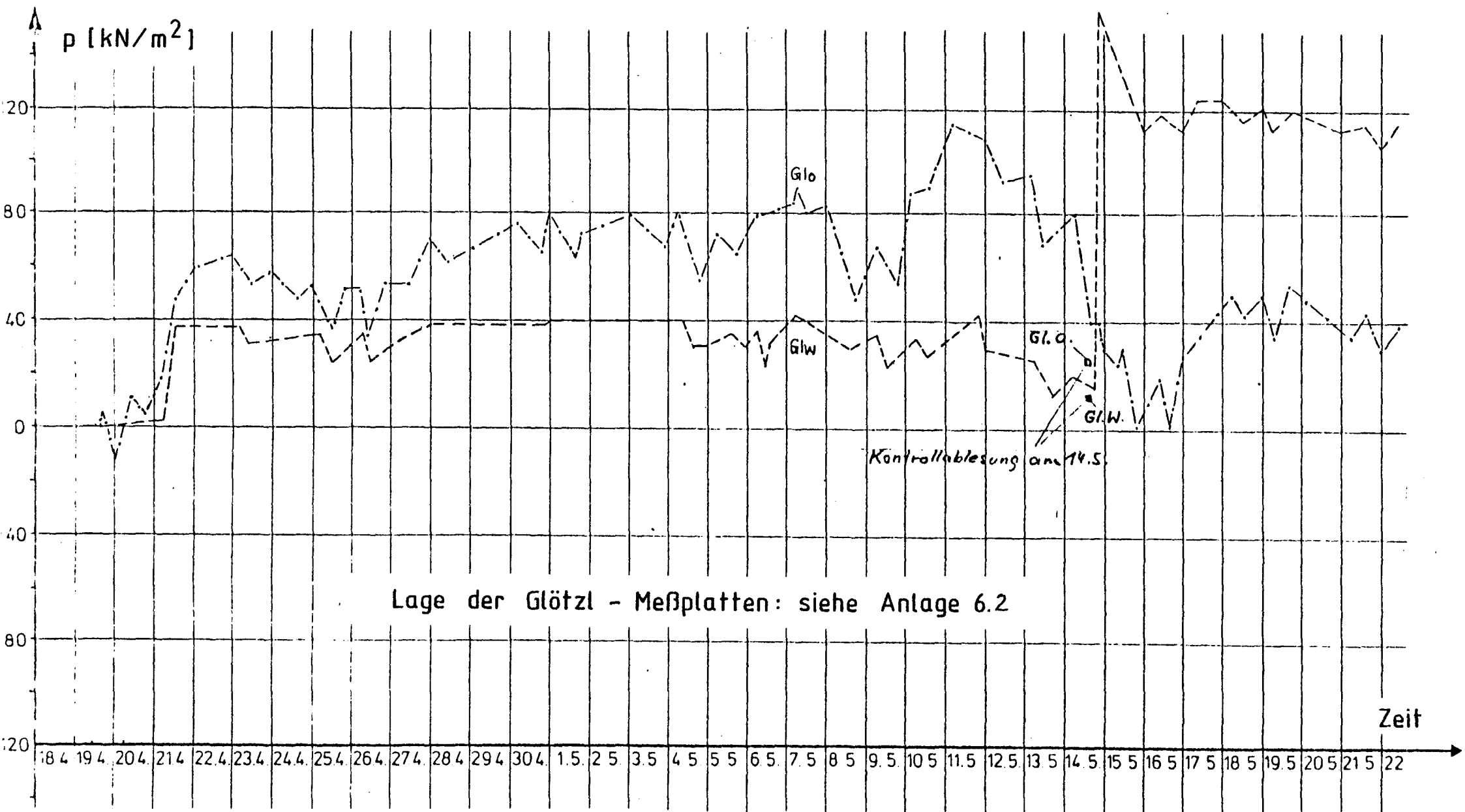
$$\Delta T_w \approx 16 \quad ^{\circ}\text{C}$$

$$M_{\Delta T}^{\text{F}} \approx 33 \quad \text{kNm/m}$$

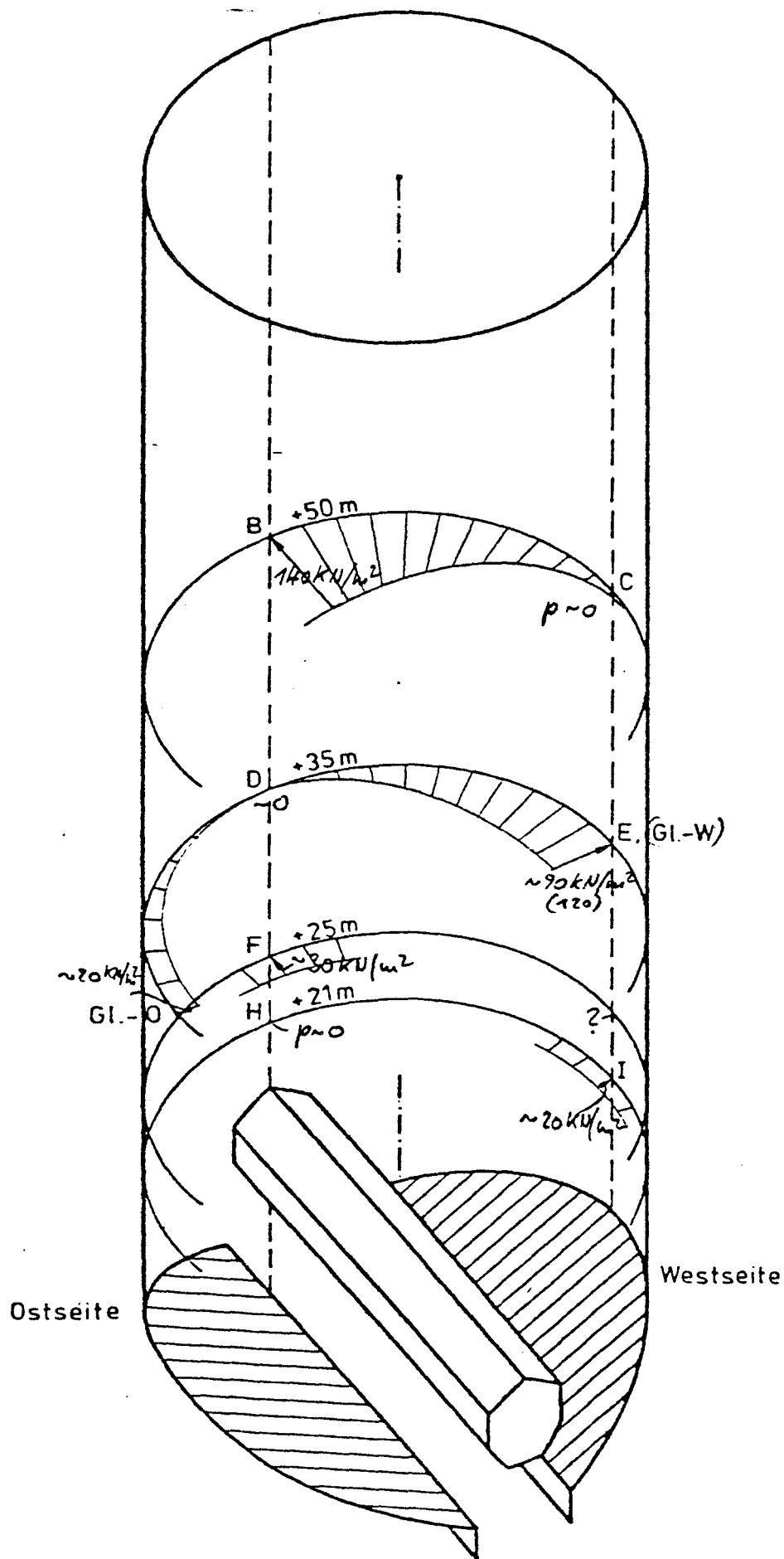
Anlage 6.9 : Temperaturzwang



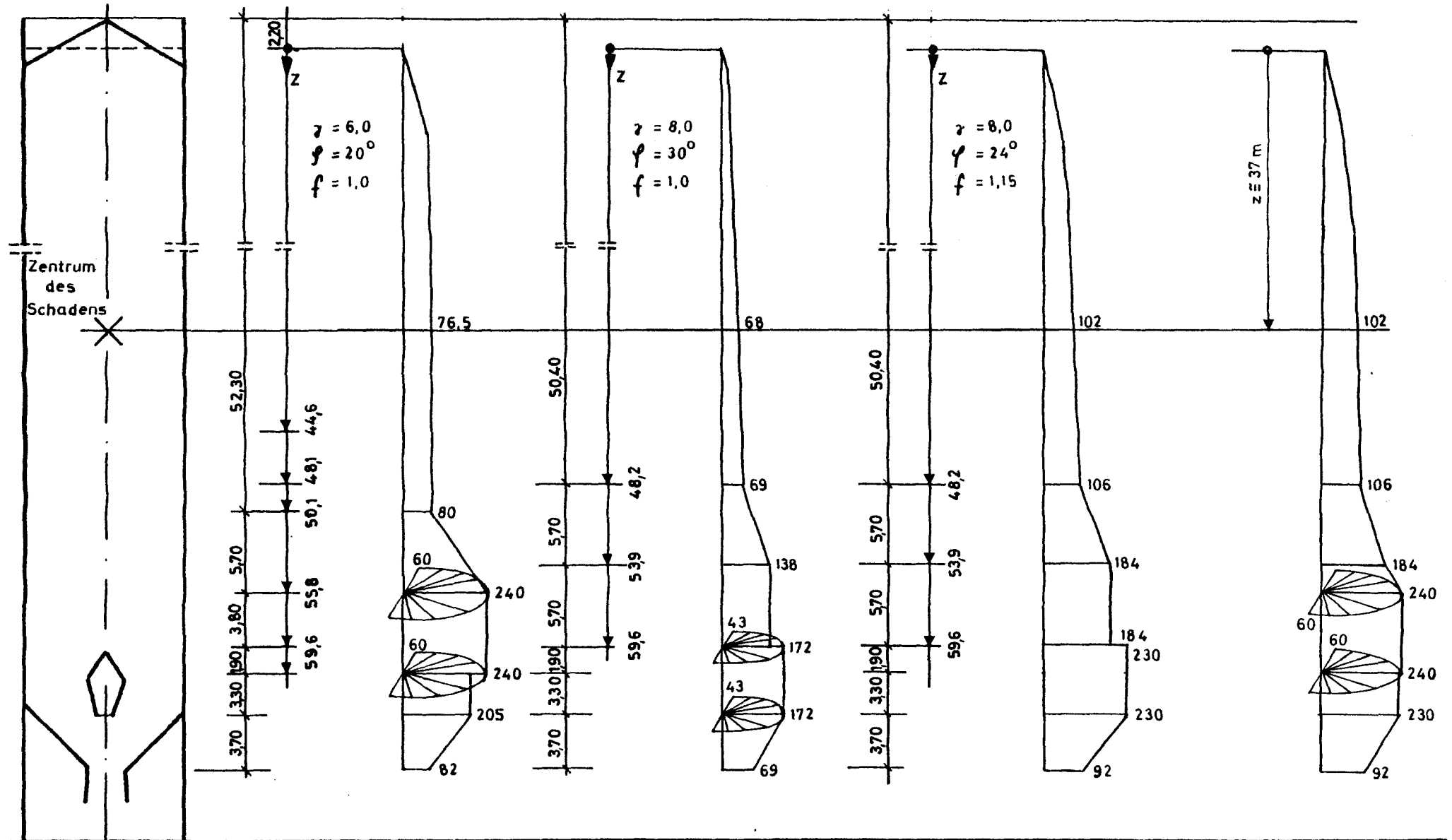
ANLAGE 6.10 : DRÜCKE AUF MESSPLATTEN



ANLAGE 6.11: DRÜCKE AUF GLÖTZL - MESSPLATTEN



ANLAGE 6.13 : LASTANNAHMEN IN BAUWERKSTATIK



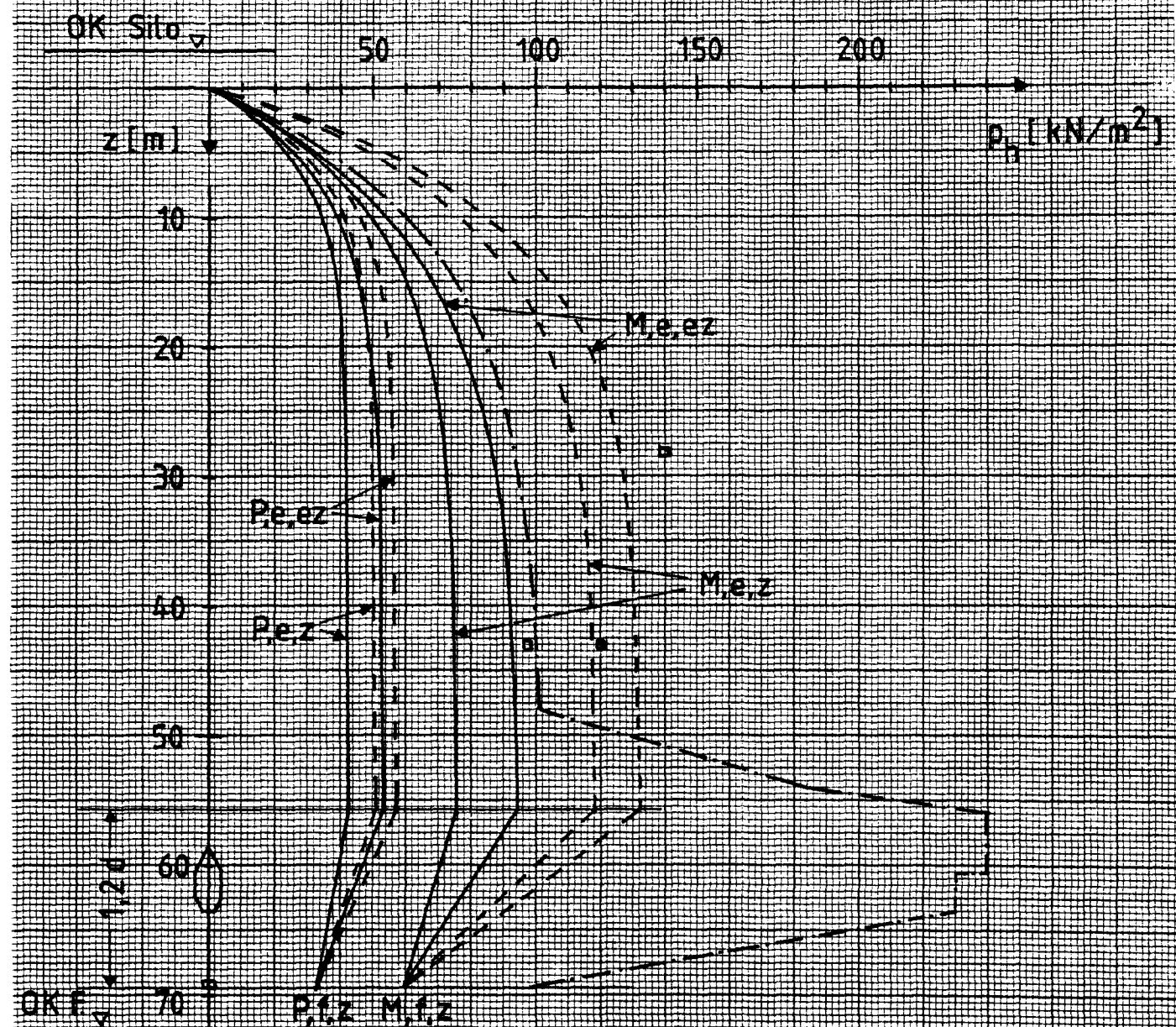
Sojaschrot

Getreide

Mais

Deckungslinie

ANLAGE 6.14 : HORIZONTALDRUCK VON PELLETS UND MAIS NACH DIN 1055 BL. 6, EB UND BAUWERKSTATIK

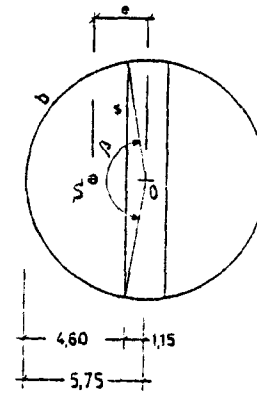


LEGENDE

- Statik
- DIN 1055, Blatt 6
- ... Ergänzende Bestimmungen zu DIN 1055, Blatt 6
- Meßwerte am 27.5.79
- P Pellets
- M Mais
- f Füllung
- e Entleerung
- z zentrisch
- ez exzentrisch

Parameter	Dim.	105T-6 (11.64) 105T-1 (3.63)		Eig. Best. zu 105T-6	
		Pellets	Haar	Pellets	Haar
μ	MN/m^3	7,5	8,0	7,5	8,0
φ	°	45	28	45	28
δ_f	°	33,75	21	33,75	21
$\mu_f = \tan \delta_f$	-	0,6682	0,3835	0,6682	0,3835
δ_c	°	27	16,8	27	16,8
$\mu_c = \tan \delta_c$	-	0,5095	0,302	0,5095	0,302
γ_a	-	-	-	-	-
γ_f	-	0,5	0,5	0,5	0,5
γ_c	-	1,0	1,0	1,0	1,0
H/U	m	2,875	2,875	2,875	2,875
e	m	3,07	3,07	3,07	3,07
H_i/U_i	m	3,60	3,60	-	-
C_z (EB)	-	-	-	1,20	1,2 · 1,3 = 1,56
C_{Ez} (EB)	-	-	-	1,34	1,34 · 1,3 = 1,74
C_h (NE-11)	-	-	-	-	-
C_b (NE-11)	-	-	-	-	-

Exzentrität:



$$\begin{aligned}
 S &= 11,27 \text{ m} \\
 \beta &= 156,93^\circ \\
 b &= 15,75 \text{ m} \\
 A_n &\approx 38,80 \text{ m}^2 \\
 e = \overline{OS} &= \frac{S^3}{12 \cdot A_n} \approx 3,07 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Ersthöhe für
Schützengraben:

$$\begin{aligned}
 H_1 &= \frac{2}{3} \cdot \gamma \cdot \tan \varphi \\
 \text{mit} \\
 \varphi_n &\approx 38^\circ \text{ wird} \\
 H_1 &\approx 3,0
 \end{aligned}$$

Anlage 6.15 : Kennwerte zur Druckermittlung

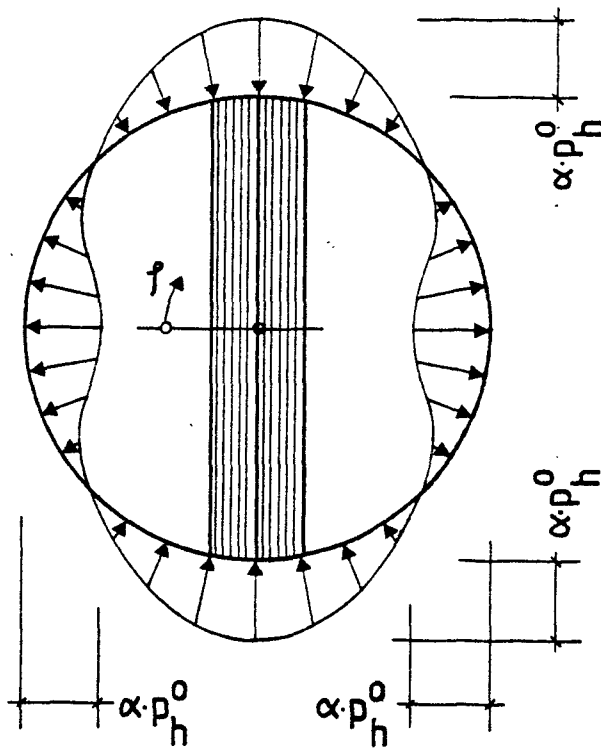
Schüttgut		Statik	DIN 1055		Eig. Best.	
		Druckvergrößer	part. Entf.	1x part. Entf.	allg. Entf.	1x allg. Entf.
Pellets	z	582	248	309	298	335
	z/z _{statik}	1	0,43	0,53	0,51	0,57
	M _u [*]	120	146		142	
	M _u [*] /M _{u,statik} [*]	1	1,22		1,18	
Mats	z	582	438	535	683	764
	z/z _{statik}	1	0,75	0,92	1,17	1,31
	M _u [*]	120	132		172	
	M _u [*] /M _{u,statik} [*]	1	1,10		0,93	

$$z = p_L \cdot r \approx 5,87 \cdot p_L$$

$$M_u^* = M_u - M_u' \quad (\text{Anlage 6.7})$$

Anlage 6.16: Ringzugkraft im Schadenszentrum ($z = 37 \text{ m}$) und Grenzmoment M_u^* ($A_{s \text{ vorh}}$)

ANNAHME A:



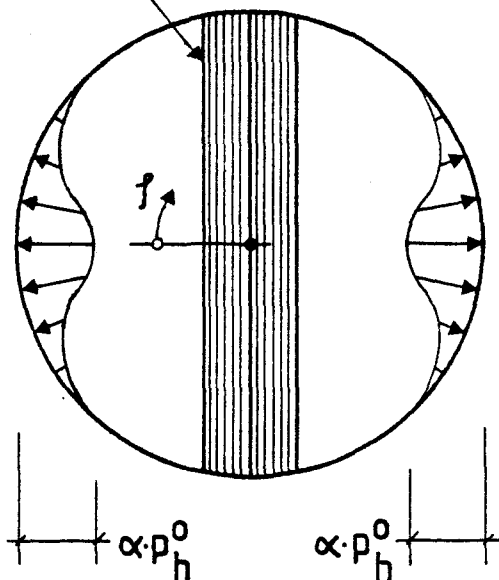
$$p_h(f) = p_h^0 + \alpha \cdot p_h^0 \cdot \cos 2f$$

Drucklinie :

$$\Delta p_h = \alpha \cdot p_h^0 \cdot \cos 2f$$

ANNAHME B:

Entlastungsbalken



$$p_h(f) = p_h^0 + \alpha \cdot p_h^0 \cdot \cos^{10} f$$

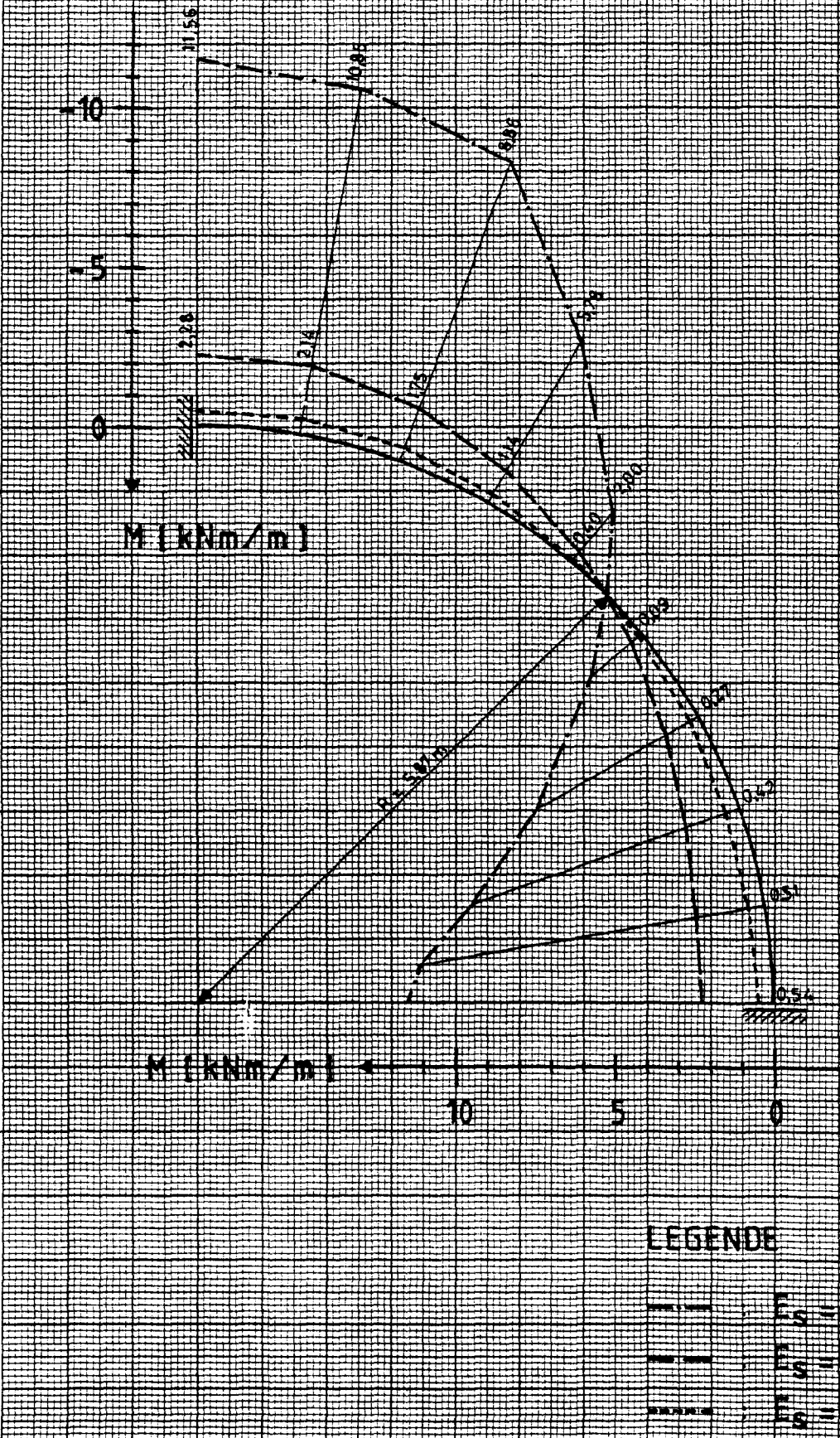
Drucklinie :

$$\Delta p_h = \alpha \cdot p_h^0 \cdot \cos^{10} f$$

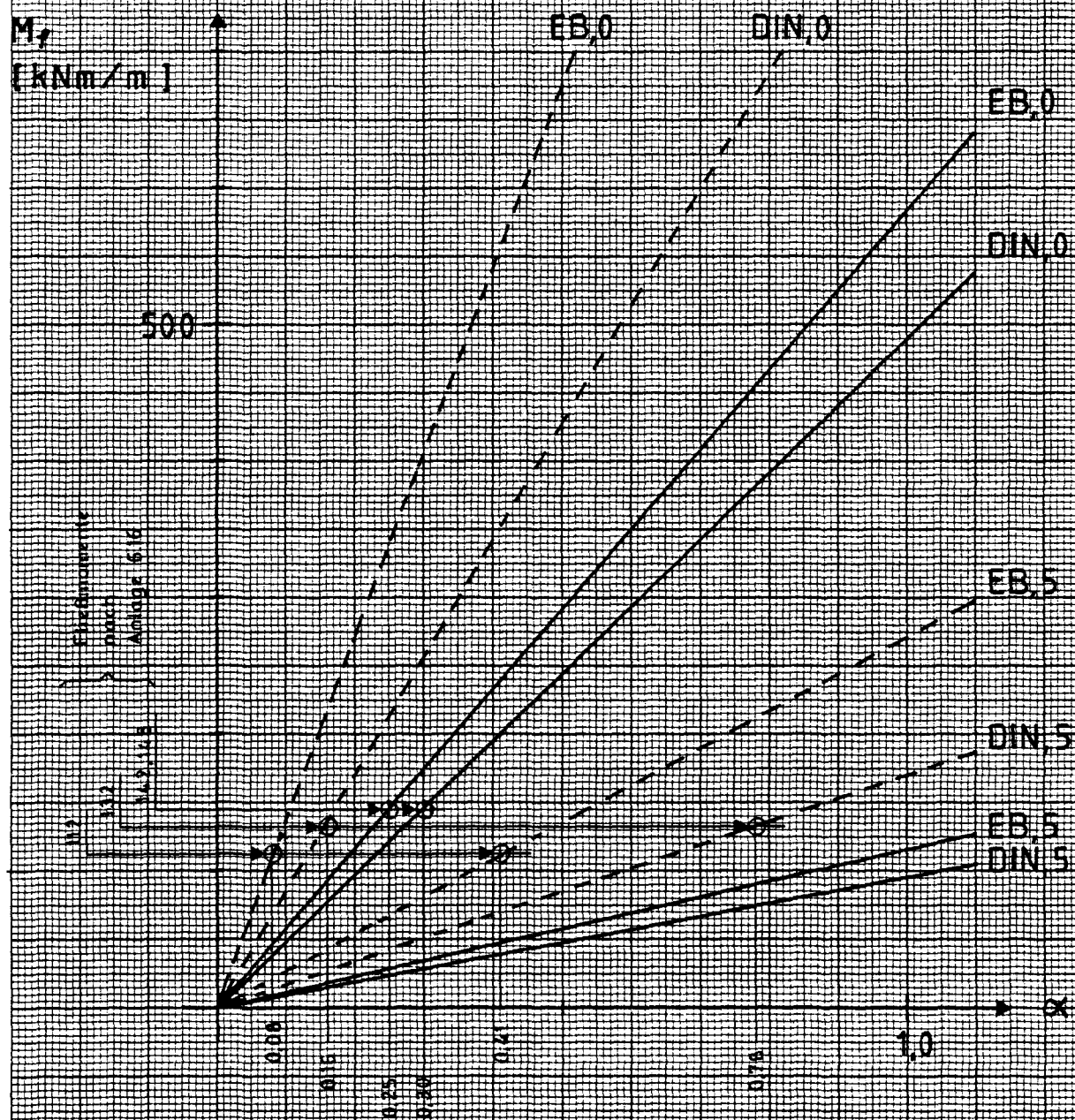
ANLAGE 6.17 : HORIZONTALDRUCKVERTEILUNG IN RINGRICHTUNG

ANLAGE 6.18 : BIEGEMOMENTENLINE INFOLGE

$\Delta p_n = 1 \cdot \cos 2\varphi$ BEI UNTERSCHIEDLICHE
SCHÜTTGUTSTEIFIGKEIT



ANLAGE 6.19: BIEGEMOMENTE M_f IM SCHADENS-
ZENTRUM IN ABHÄNGIGKEIT VON α
BEI LASTANSATZ $p_h(f) = p_h^0 + \alpha \cdot p_h^0 \cos 2f$
MIT p_h^0 NACH BERECHNUNGSVOR-
SCHRIFTEN



LEGENDE

--- Mais

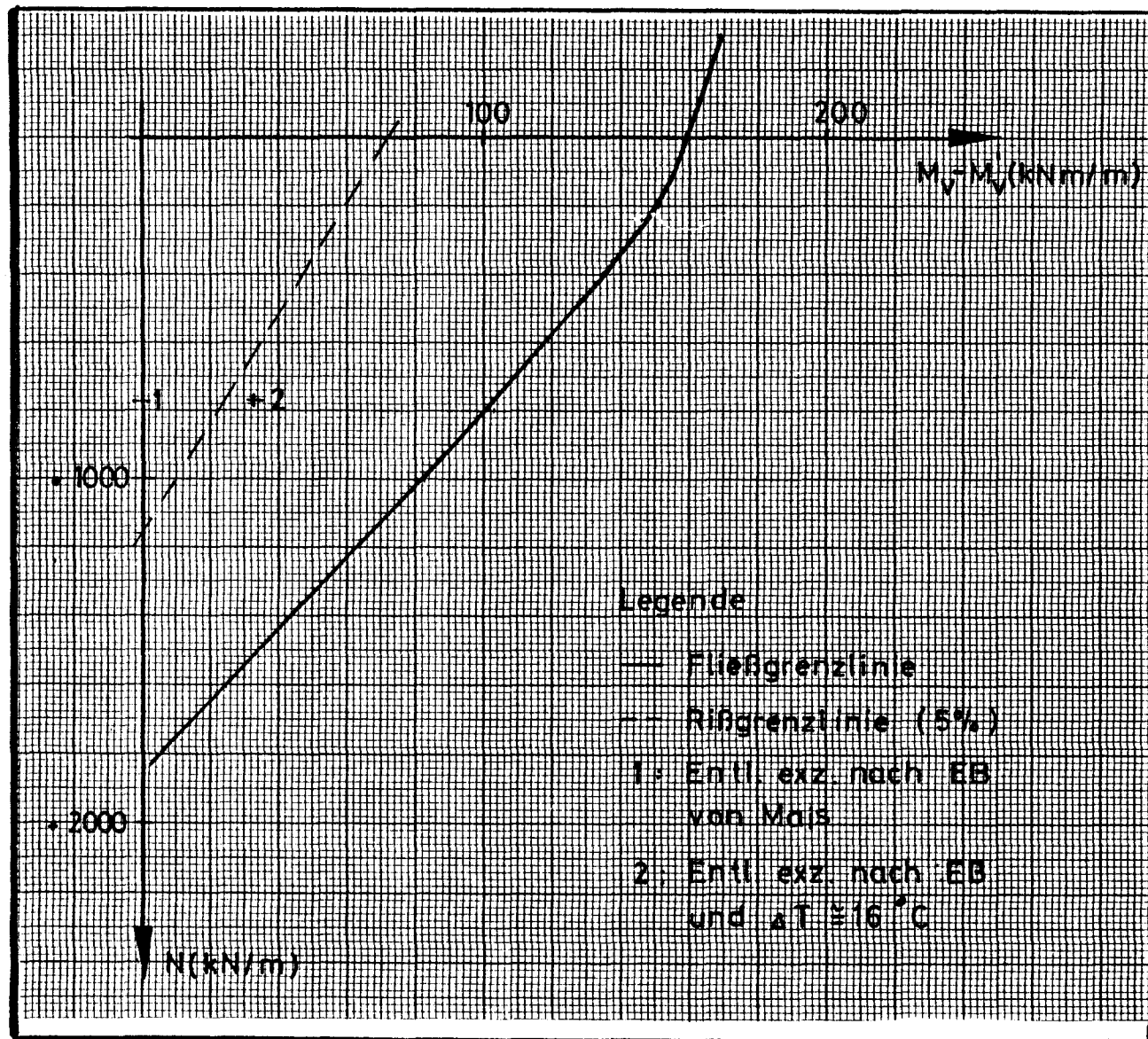
— Pallets

DIN DIN 1055, Blatt 6

EB Ergänzende Bestimmungen
zu DIN 1055, Blatt 6

,0 $E_s = 0 \text{ MN/m}^2$

,5 $E_s = 5.0 \text{ MN/m}^2$



Zu 1:

$$z_1 = 764 \text{ kN/m}$$

(Anlage 6.16)

$$\frac{z_{R,1}}{z_1} = \frac{1162}{764} \approx 1,50$$

Zu 2:

$$z_2 = 764 \text{ kN/m}$$

(Anlage 6.16)

$$p_{\Delta T}^I \approx 33 \text{ kN/m/m}$$

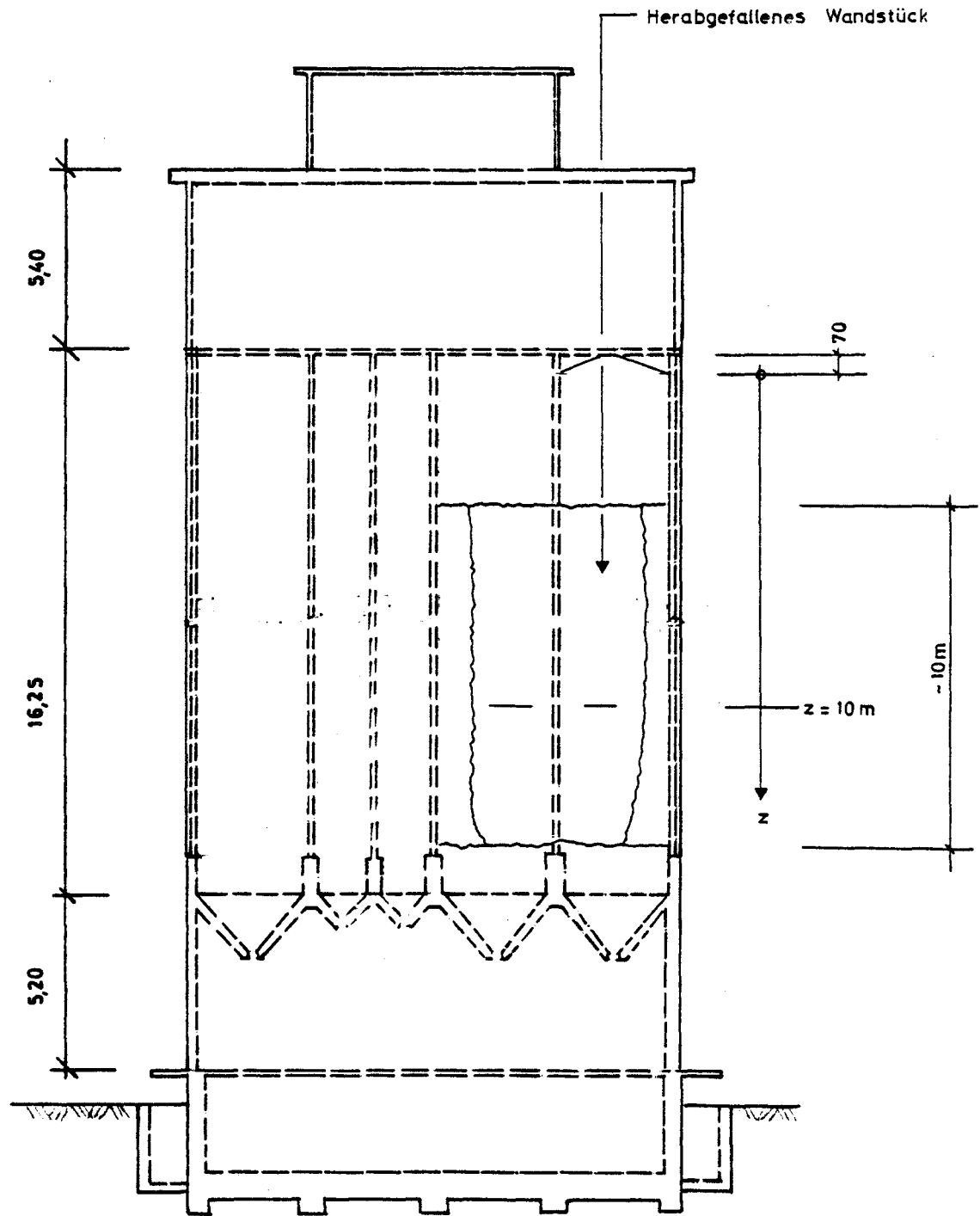
(Anlage 6.3)

Anlage 6.20 : Rißbeanspruchungen

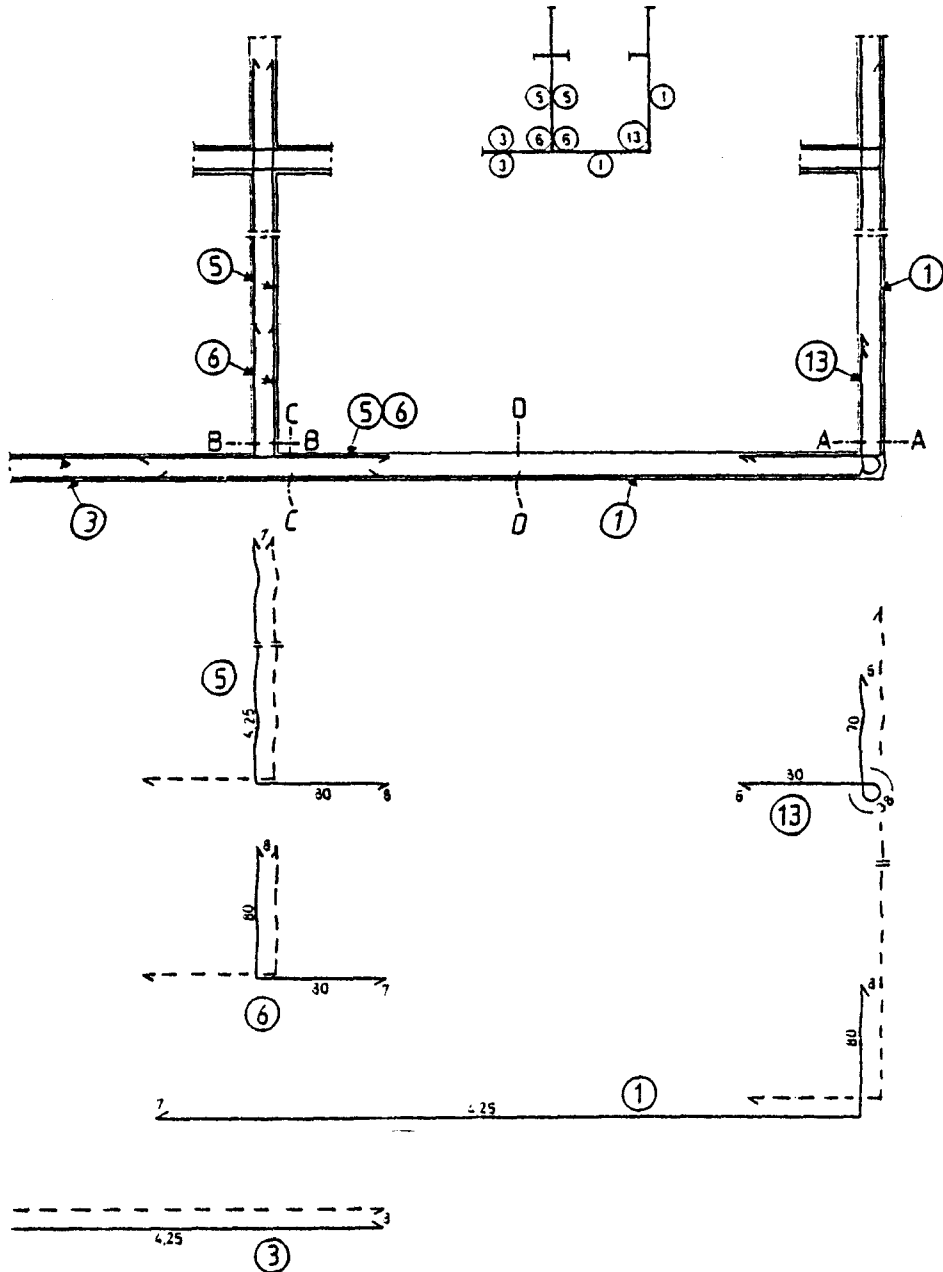


<http://www.digibib.tu-bs.de/?docid=00056046>

ANLAGE 7.2: SCHADENSbild ANSICHT II - II



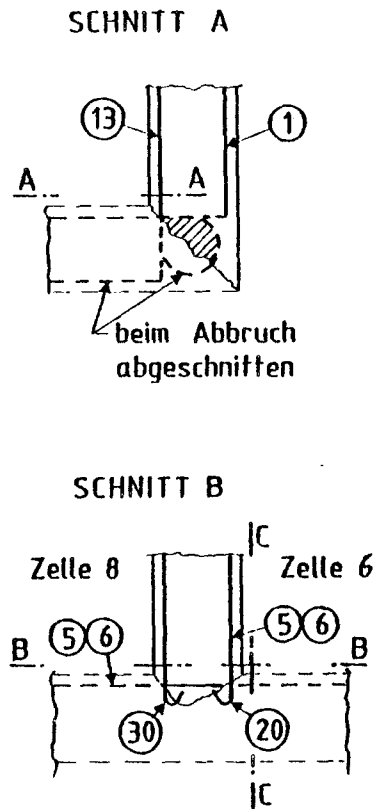
Skizze auf
Bewehrungsplan



z (m)	Zone	Schnitt D (Feldbewehrung)			Schnitte A, B und C (Stützbewehrung)		
		Pos.-Nr.	Bewehrung	A_s [cm ² /m]	Pos.-Nr.	Bewehrung	A_s [cm ² /m]
7	VIII	1	$\phi 7 - s = 15$	2,57	5, 6	$\phi 7 - s = 15$ $\phi 6 - s = 15$ (Zul.)	4,45
8	IX		$\phi 7 - s = 14$	2,75		$\phi 7 - s = 14$ $\phi 7 - s = 14$ (Zul.)	5,5
9	X		$\phi 8 - s = 16$	3,14		$\phi 8 - s = 16$ $\phi 8 - s = 16$ (Zul.)	4,91
10	XI		$\phi 8 - s = 15,5$	3,24		$\phi 8 - s = 15,5$ $\phi 6 - s = 15,5$ (Zul.)	5,07
11	XII	3	$\phi 8 - s = 15$	3,35	13	$\phi 8 - s = 15$ $\phi 6 - s = 15$ (Zul.)	5,24
12	XIII		$\phi 8 - s = 14$	3,59		$\phi 8 - s = 14$ $\phi 6 - s = 14$ (Zul.)	5,61
13							

ANLAGE 7.3:

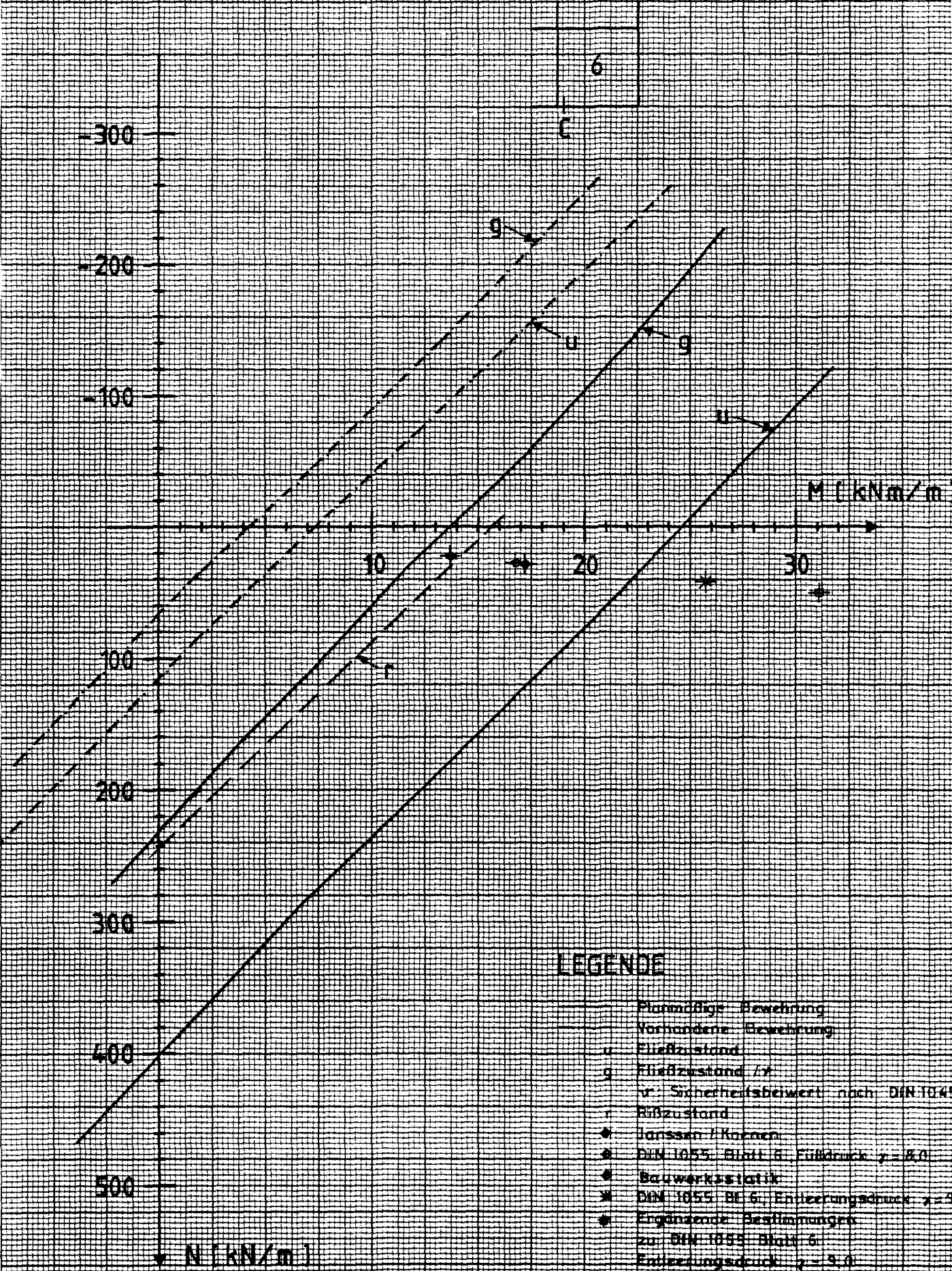
PLANMÄSSIGE BEWEHRUNG IM SCHADENSBEREICH



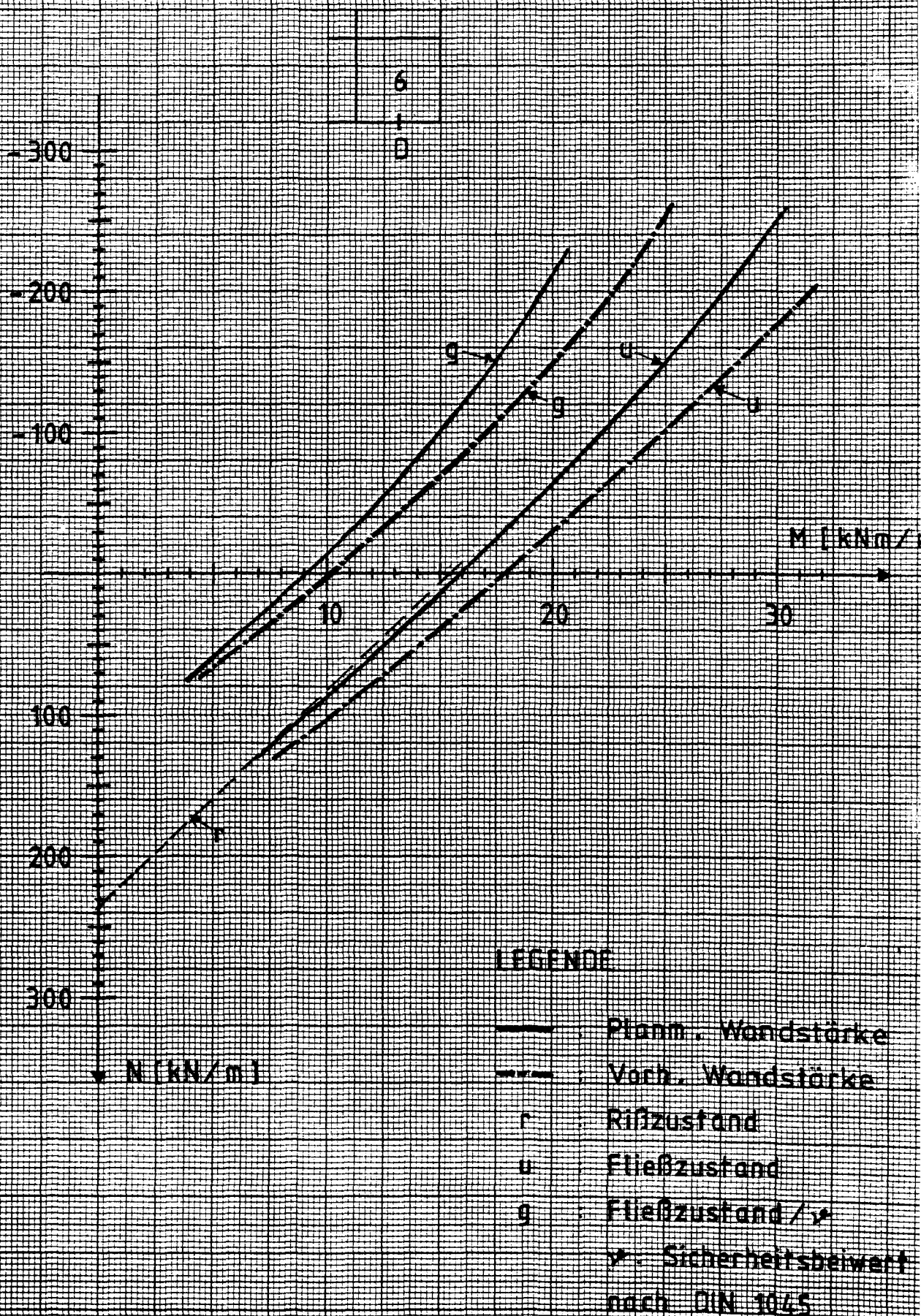
z [m]	Zone	Schnitt A			Schnitt B (zu Zelle 8)			Schnitt B (zu Zelle 6)			Schnitt C		
		Pos. Nr.	Bew.	A_s [cm ² /m]	Pos. Nr.	Bew.	A_s [cm ² /m]	Pos. Nr.	Bew.	A_s [cm ² /m]	Pos. Nr.	Bew.	A_s [cm ² /m]
7	VIII	13	4 ϕ 7	1,5	5,6	1 ϕ 8	0,5	5,6	2 ϕ 8	1,0	5,6	1 ϕ 8	0,5
8					30	6 ϕ 7	2,31	20	5 ϕ 7 2 ϕ 8	2,93			
9	IX	13	3 ϕ 7	1,2	5,6	3 ϕ 7	1,2	5,6	3 ϕ 7	1,2	5,6	3 ϕ 7	1,2
10					30	5 ϕ 7	1,92	20	8 ϕ 7	3,08			
11	X	13	3 ϕ 7	1,2	5,6	3 ϕ 7	1,2	5,6	2 ϕ 7 1 ϕ 10	1,6	5,6	3 ϕ 7	1,2
12					30	4 ϕ 7 1 ϕ 10	2,32	20	5 ϕ 7 2 ϕ 10	3,50			
13	XI	13	5 ϕ 7	1,9	5,6	3 ϕ 7 1 ϕ 10	2,3	5,6	3 ϕ 7 1 ϕ 10	2,0	5,6	3 ϕ 7 1 ϕ 10	2,3
14					30	3 ϕ 8 2 ϕ 7	2,28	20	5 ϕ 7, 1 ϕ 8 3 ϕ 10	4,78			
15	XII	13	3 ϕ 8 1 ϕ 8	2,0	5,6	2 ϕ 8 1 ϕ 10	1,8	5,6	2 ϕ 8 1 ϕ 10	1,8	5,6	2 ϕ 8 1 ϕ 10	1,8
16					30	4 ϕ 8	2,51	20	6 ϕ 8 1 ϕ 10	3,8			
17	XIII	13	3 ϕ 8	1,5	5,6	2 ϕ 8 2 ϕ 10	2,1	5,6	1 ϕ 7 2 ϕ 10	2,0	5,6	2 ϕ 8 2 ϕ 10	2,1
18					30	6 ϕ 8	3,02	20	2 ϕ 7, 5 ϕ 8 2 ϕ 10	4,85			

ANLAGE 7.4 : VORHANDENE BEWEHRUNG IM SCHADENSBEREICH

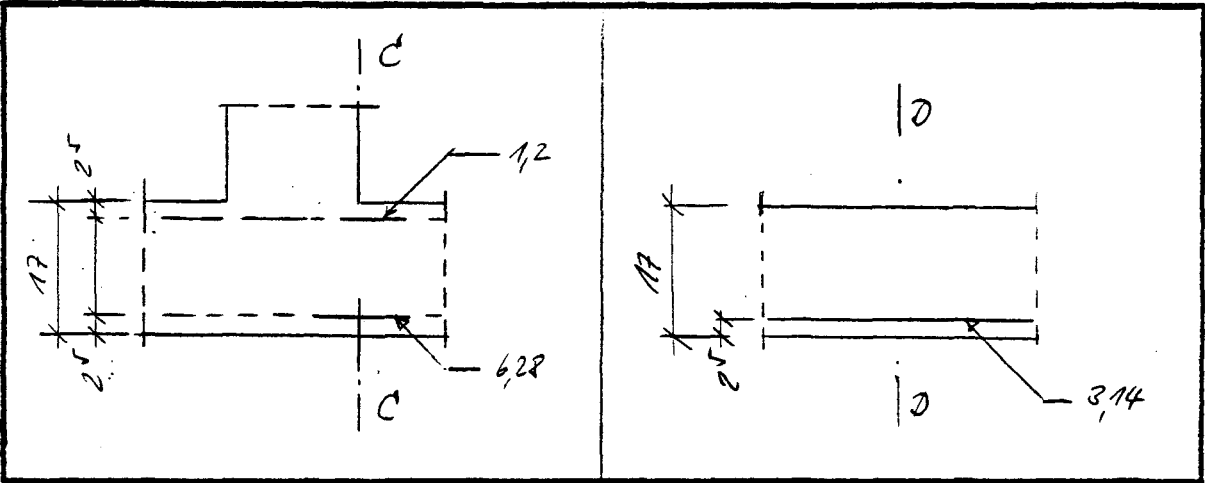
ANLAGE 75: TRAGFÄHIGKEITSGRENZLINIE ZU SCHNITT C



ANLAGE 76: TRAGFÄHIGKEITSGRENZLINIE ZU SCHNITT D



Baustoff	Festigkeit	E-Modul in MN/m ²	$n = \frac{E_s}{E_b}$
Beton	B 17,5	27 000	
Stahl	BSt 420 / S500 R	210 000	7,78



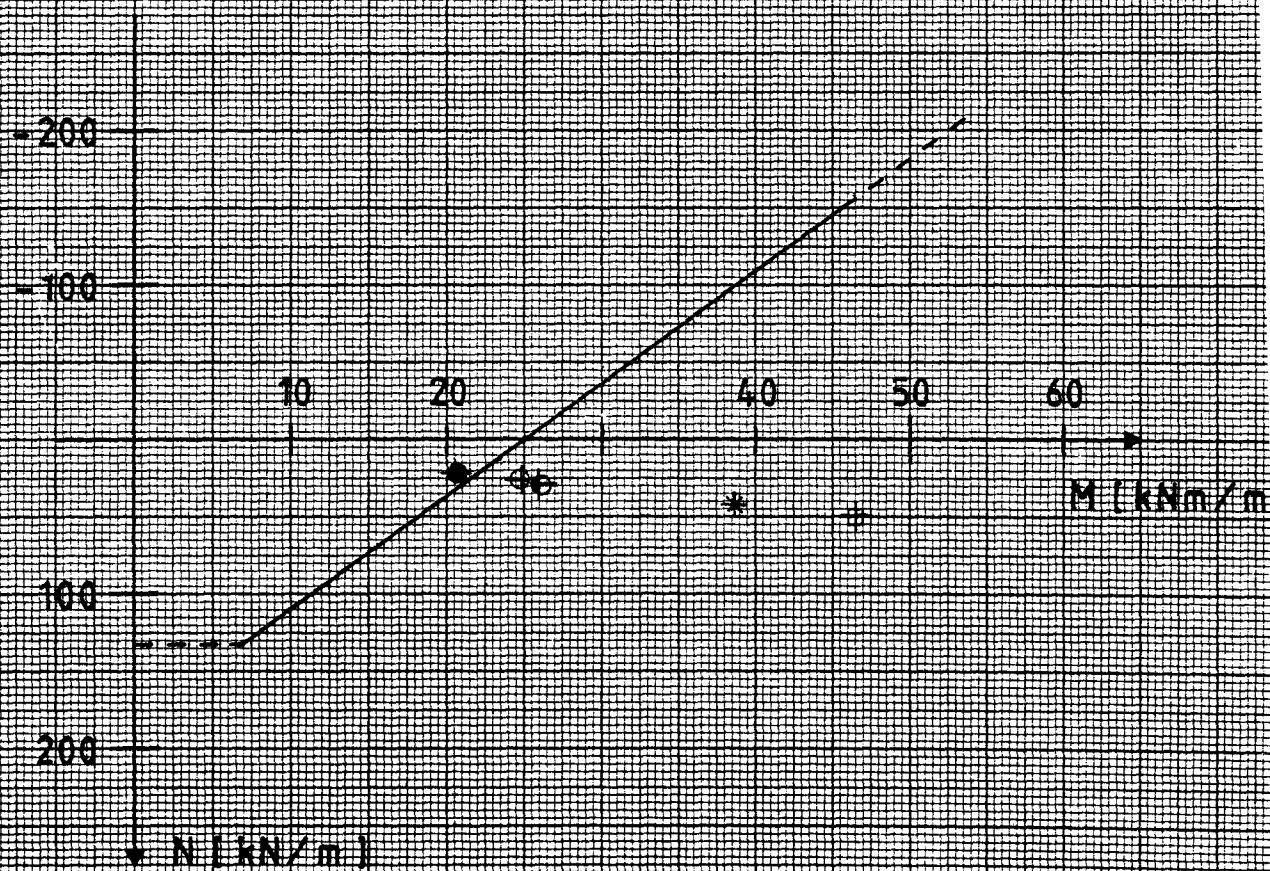
Querschnittswerte		Schnitt C	Schnitt D
A_{bi}	m ² /m	0,175	0,172
y_{bi}	cm	8,4	8,4
I_{bi}	m ⁴ /m	$4,27 \cdot 10^{-4}$	$4,17 \cdot 10^{-4}$
$W_{bi, \text{innen}}$	m ³ /m	$4,96 \cdot 10^{-3}$	$4,86 \cdot 10^{-3}$
$W_{bi, \text{außen}}$	m ³ /m	$5,10 \cdot 10^{-3}$	$4,94 \cdot 10^{-3}$

Betonzugfestigkeit nach Rüschi [25] : $\beta = c \cdot 0,464 \sqrt[3]{\beta_{WN}^2}$						
	c 5%	β 5%	Dim.	c 50%	β 50%	Dim.
Zugfestigkeit β_Z	0,44	1,38	$\frac{N}{mm^2}$	0,77	2,47	$\frac{N}{mm^2}$
Biegezugfest. β_{BZ}	1,01	3,16	$\frac{N}{mm^2}$	1,56	4,88	$\frac{N}{mm^2}$

Rißschnittgrößen :	Dimension	5% Fraktile	50% Fraktile
$Z_R = \beta_Z \cdot A_{bi}$	kN/m	~ 242	~ 415
$M_R = \beta_{BZ} \cdot W_{bi, \text{innen}}$	kNm/m	~ 15,7	~ 24,2

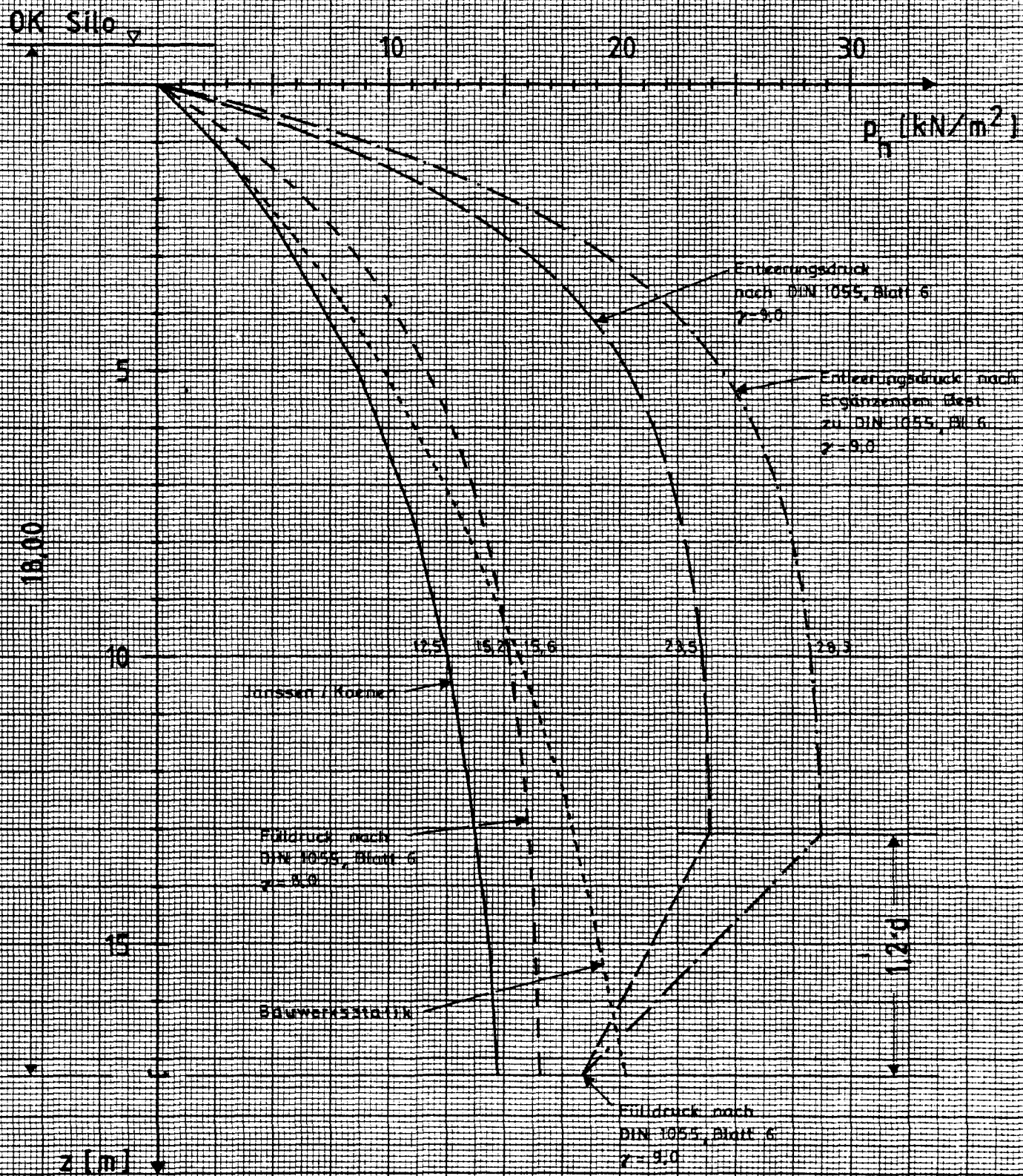
Anlage 7.7 : Rißschnittgrößen

ANLAGE 78 : GESAMTTRAGFÄHIGKEIT - GRENZLINIE UND M,N - KOMBINATIONEN NACH BERECHNUNGSVORSCHRIFTEN



LEGENDE

- Janssen / Koenen
- ⊙ DIN 1055 Blatt 6, Fußdruck $\gamma = 8,0 \text{ kN/m}^3$
- ◆ Bauwerksstatik
- * DIN 1055 Bl. 6, Entleerungsdruck $\gamma = 9,0 \text{ kN/m}^3$
- ⊞ Ergänzende Bestimmungen zu DIN 1055 Blatt 6, Entleerungsdruck $\gamma = 9,0 \text{ kN/m}^3$



12.5 15.2 15.6 23.5 28.3

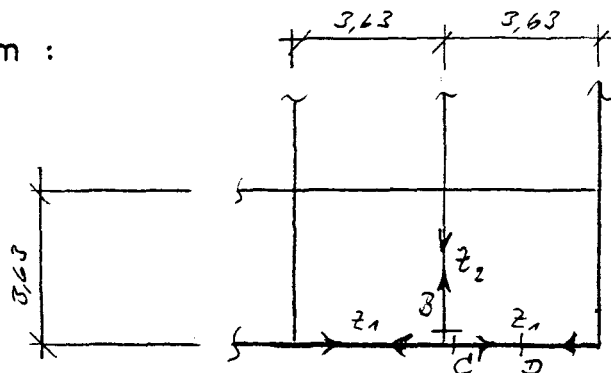
1 1.22 1.25 1.88 2.20

Parameter	Dim.	Statik	Jauchsen/K.	ADT-6 ADT-1 (17.78)	Erg. Best.	NE-11	<p>Erreichte Höhe für Brütt = gut hegecl:</p> $\Delta h = \frac{2}{3} \cdot \frac{9}{2} \cdot \tan \varphi$ $= \frac{2}{3} \cdot 7,74 \cdot \tan 30$ $\approx \underline{\underline{0,70 \text{ m}}}$
μ	KN/m^3	7,5	7,5	9,0	9,0	9,0	
φ	°	30	30	30	30	31	
s_f	°	—	—	22,5	22,5	—	
$M_f = \tan s_f$	—	—	—	0,4142	0,4142	0,40	
s_e	°	$\varphi/2 = 15$	$3\varphi/4 = 22,5$	18	18	—	
$M_e = \tan s_e$	—	0,2673	0,4142	0,3249	0,3249	—	
λ_a	—	0,333	0,333	—	—	—	
λ_f	—	—	—	0,5	0,5	0,6	
λ_e	—	—	—	1,0	1,0	—	
H/U	m	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	
e	m	—	—	—	—	—	
H_i/U_i	m	—	—	—	—	—	
C_2 (EB)	—	—	—	—	1,2	—	<p>Werten</p>
C_{E2} (EB)	—	—	—	—	—	—	
C_{H1} (NE-11)	—	—	—	—	—	1,5	
C_b (NE-11)	—	—	—	—	—	1,2	

Anlage 7.10 : Kennwerte zur Druckermittlung

Statisches System :

$$l_i = 3,48 \text{ m}$$



Schnittgrößen :

$$\max m_D = \frac{P_L \cdot l^2}{24} = 0,549 \cdot P_L$$

$$\min m_C = \frac{P_L \cdot l^2}{12} = 1,098 P_L$$

$$g_b m \approx 1,65 P_L$$

$$z_1 = P_L \cdot l / 12 = 1,74 P_L$$

$$z_2 = 2 z_1 = 3,48 P_L$$

Auswertung für $z = 10 \text{ m}$:

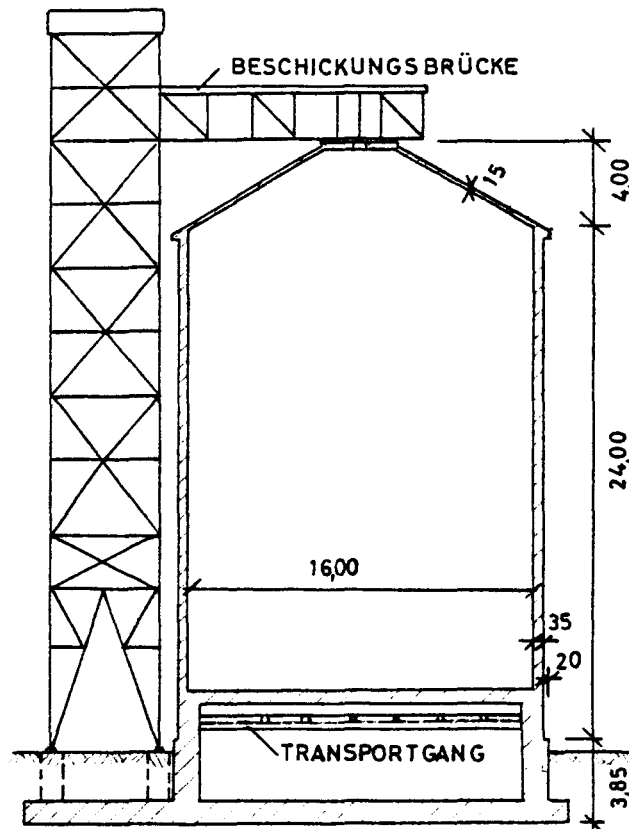
B 17,5 , BSt 420 1500

$$b/d/h/c = 100/17/145/6$$

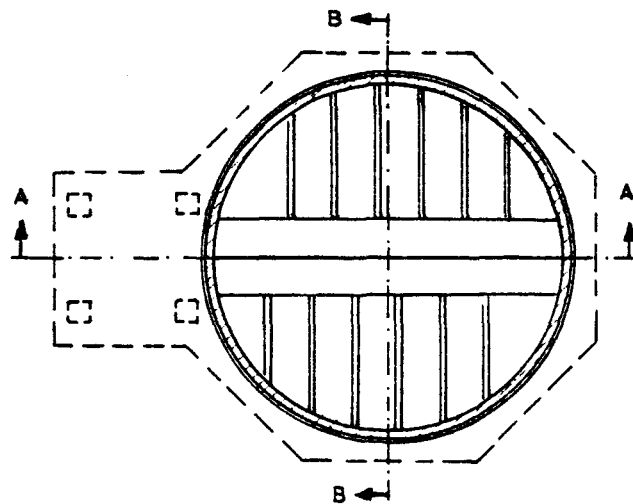
		Janssen/ Koecken	ADU-6 Füllen $\mu = 8,0$	Rack = GSKs = Stark	ADU-6 Entleeren $\mu = 9,0$	ER Entleeren $\mu = 9,0$
m_C	$\frac{\text{kNm}}{\text{m}}$	13,7	16,7	17,1	25,8	31,1
z_1	$\frac{\text{kN}}{\text{m}}$	27,75	26,45	27,1	40,8	49,2
$\text{eff } P_C(C')$	$\frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$	4,76	5,89	6,05	9,3	17,4
$\text{orth } P_C(C)$	$\frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$	1,2				
m_{g_b}	$\frac{\text{kNm}}{\text{m}}$	20,6	25,0	25,7	38,7	46,6
z_2	$\frac{\text{kN}}{\text{m}}$	43,5	52,9	54,3	81,6	98,5
$\text{orth } P_{s, \mu, H.}$	$\frac{\text{cm}^2}{\text{m}}$	5,82				
$z_2 / \text{orth } P_{s, \mu, H.}$	$\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	74,7	90,9	93,3	140	165

Anlage 7.11: Schnittgrößen und Bemessung

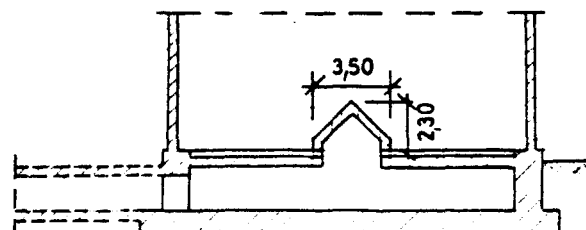
SCHNITT A-A



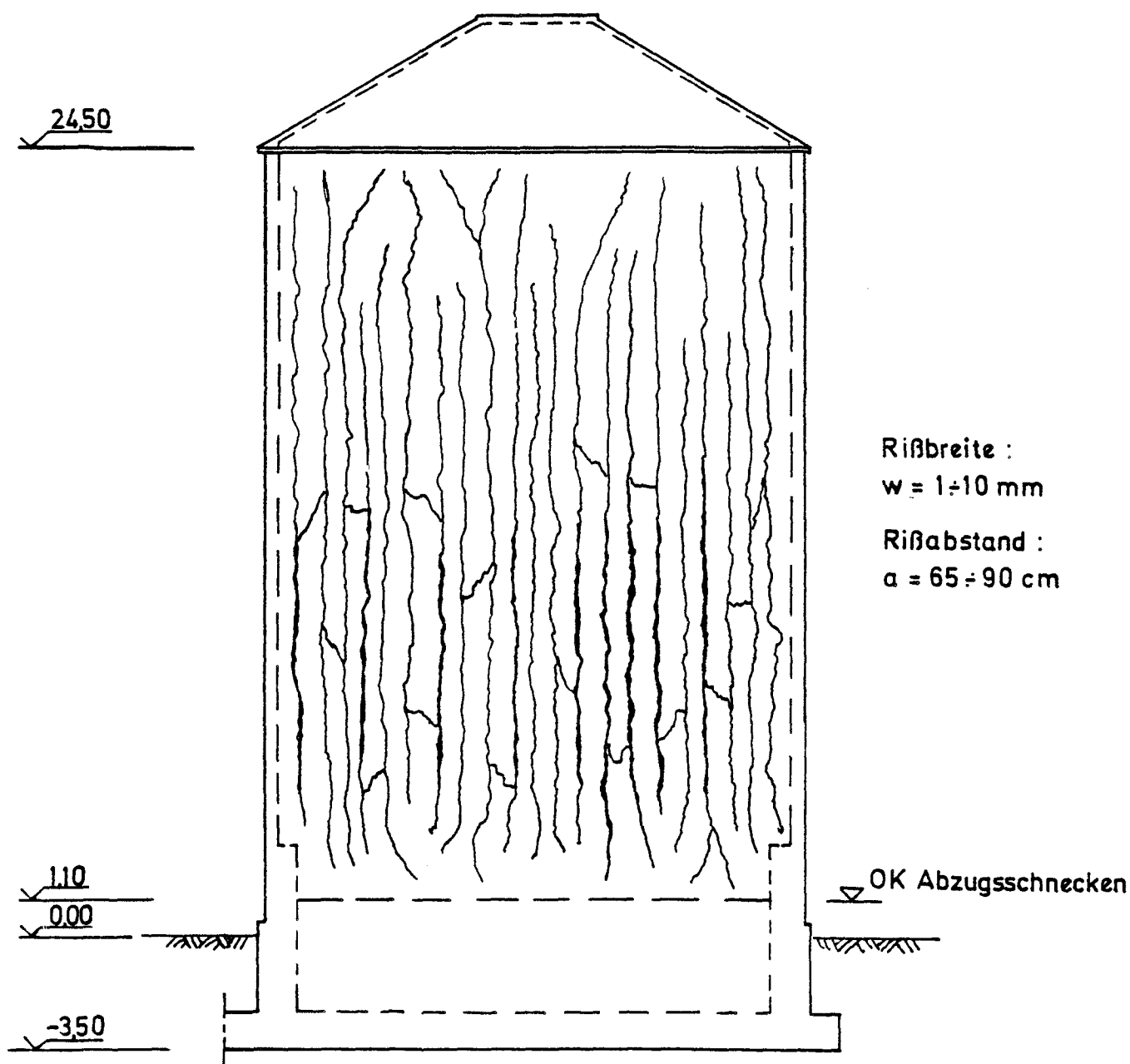
GRUNDRISS



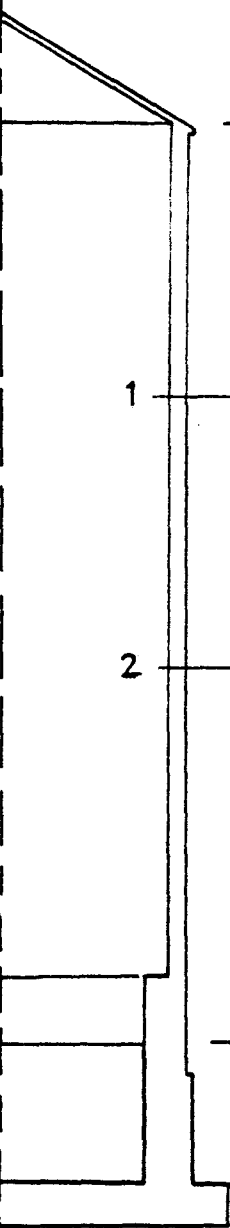
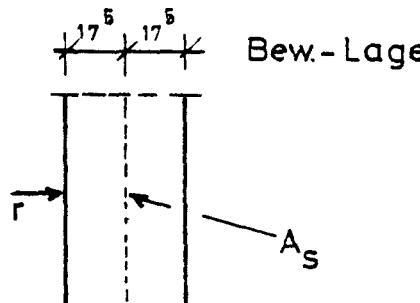
SCHNITT B-B



ANLAGE 8.1: GRUNDRISS UND SCHNITTE

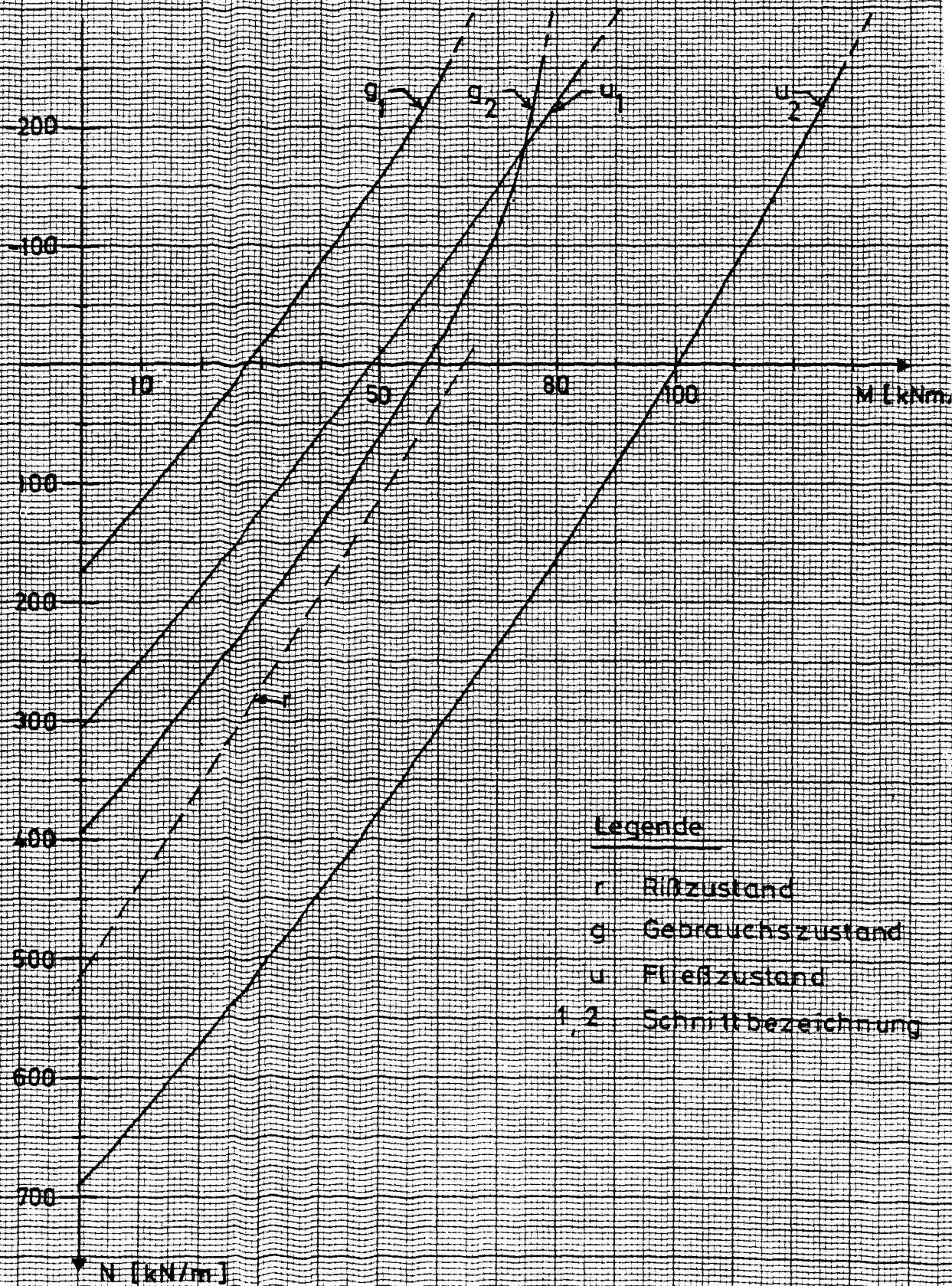


ANLAGE 8.2: SCHADENSBILD NACH FOTOS

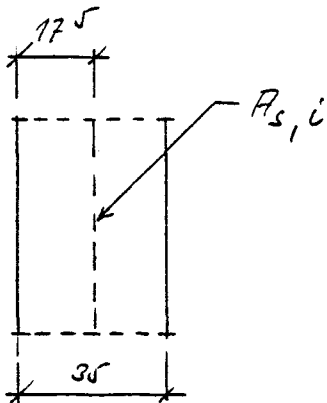
		Bereich $\Delta h = 1\text{ m}$	Ringbewehrung (BSt 220/340)	A_s cm^2/m
	1	1	8 ϕ 10	6,3
		2	7 ϕ 12	7,9
		3	7 ϕ 12	7,9
		4	8 ϕ 12	9,1
		5	9 ϕ 12	10,2
		6	8 ϕ 14	12,3
		7	9 ϕ 14	13,9
		8	9 ϕ 16	18,1
		9	10 ϕ 16	20,1
		10	8 ϕ 18	20,4
		11	7 ϕ 20	22,0
		12	8 ϕ 20	25,1
		13	9 ϕ 20	28,3
		14	10 ϕ 20	31,4
		15	10 ϕ 20	31,4
		16	11 Laufschienen je 16,0 cm^2	50,4
		17		
		18		
		OHNE ANGABE		
				

ANLAGE 8.3: PLANMÄSSIGE RINGBEWEHRUNG

ANLAGE 8.4 : Tragfähigkeitsgrenzlinien



Baustoff	Festigkeit	E-Modul in MN/m ²	$n = \frac{E_s}{E_b}$
Beton	B ~ 17,5	27 000	7,78
Stahl	RSt 220/340 S	210 000	

	$A_{s1} \approx 13,9 \text{ cm}^2/\text{m}$ $A_{s2} = 37,4 \text{ cm}^2/\text{m}$
---	--

Querschnittswerte		Schnitt 1	Schnitt 2	Fußballerst
A_{bi}	m ² /m	0,355	0,371	0,365
y_{bi}	cm	17,5		
I_{bi}	m ⁴ /m	$35,7 \cdot 10^{-4}$		
$W_{bi,innen}$	m ³ /m	$20,4 \cdot 10^{-3}$		
$W_{bi,außen}$	m ³ /m	$20,4 \cdot 10^{-3}$		

Betonzugfestigkeit nach Rüsç [25] : $\beta = c \cdot 0,464 \sqrt[3]{\beta_{WN}^2}$						
	c 5%	β 5%	Dim.	c 50%	β 50%	Dim.
Zugfestigkeit β_Z	0,44	1,38	$\frac{N}{mm^2}$	0,77	2,41	$\frac{N}{mm^2}$
Biegezugfest. β_{BZ}	1,07	3,16	$\frac{N}{mm^2}$	1,56	4,88	$\frac{N}{mm^2}$

Riðschnittgrößen	Dimension	5% Fraktile	50% Fraktile
$Z_R = \beta_Z \cdot A_{bi}$	kN/m	~ 578	~ 880
$M_R = \beta_{BZ} \cdot W_{bi,außen}$	kNm/m	~ 64,5	~ 99,6

Anlage 8.5 : Riðschnittgrößen

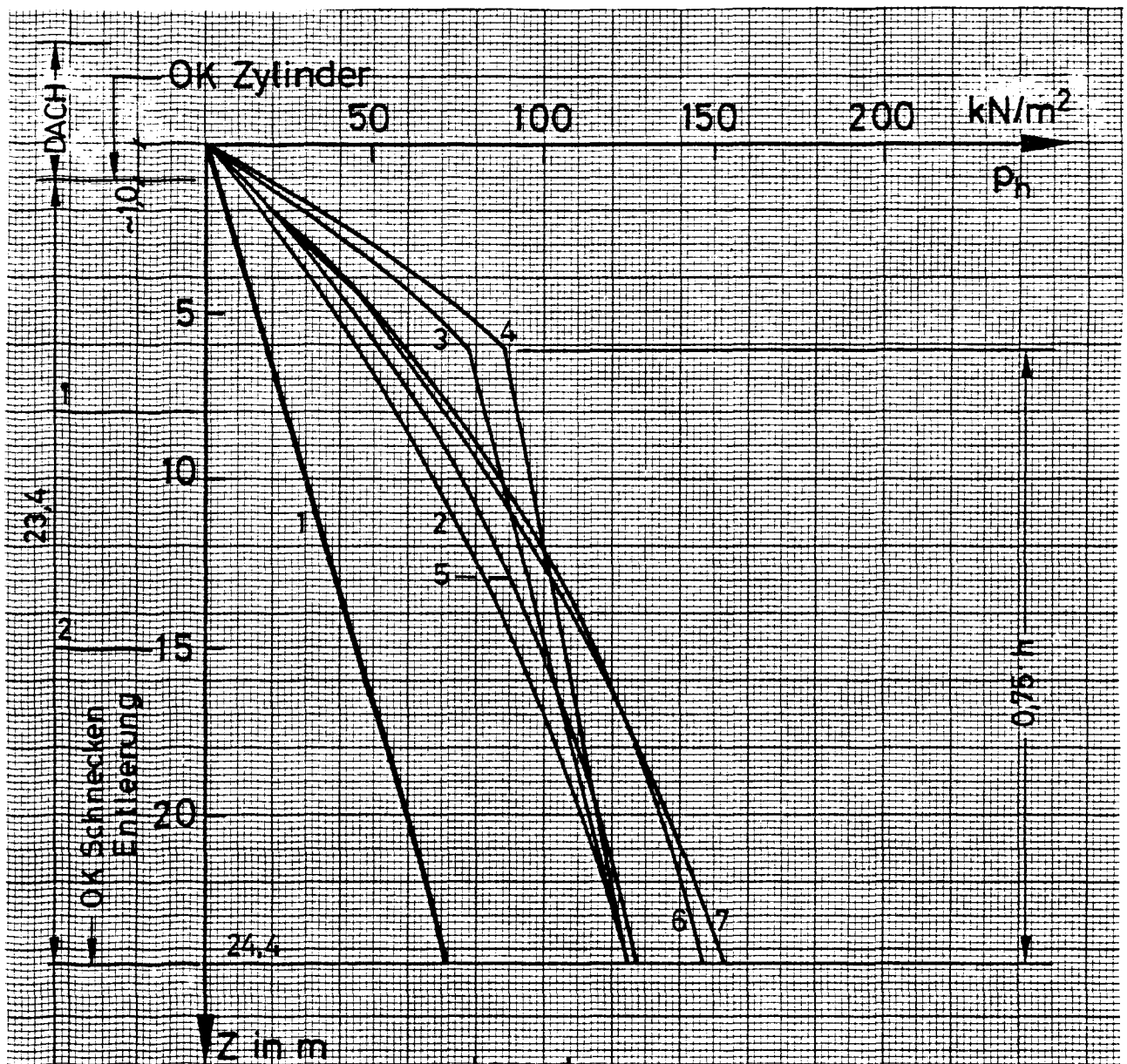
*) nach [30]

Allg. Formeln	
$\Delta T_w = \frac{g_{\Delta T} \cdot d}{d + \lambda \left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_a} \right)}$	$M_{\Delta T}^I = \frac{E_b \cdot J_{bi} \cdot \alpha_T \cdot \Delta T_w}{d (1 - \nu)}$
$M_{\Delta T}^I = M_{\Delta T}^I \cdot \frac{K_b}{E_b \cdot J_{bi}}$	$K_b^*) = [\rho_f + 6 \cdot \sum \mu_s] \cdot E_b \cdot J_{bi}$

Parameter	Dimension	Schritt 1	Schritt 2
T_i	$^{\circ}\text{C}$	~ 100	
T_a	$^{\circ}\text{C}$	~ -15	
$g_{\Delta T} = T_i - T_a$	$^{\circ}\text{C}$	~ 115	
λ Beton	$\frac{\text{Kcal}}{\text{m} \cdot \text{s} \cdot ^{\circ}\text{C}}$	1,74	
$\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_a}$	$\frac{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot ^{\circ}\text{C}}{\text{Kcal}}$	0,2	
α_T	$1/^{\circ}\text{C}$	10^{-5}	
b	m	1,00	
d	m	0,35	
h	m	0,175	
J_{bi}	m^4/m	$35,7 \cdot 10^{-4}$	
E_b	MN/m^2	$2,7 \cdot 10^4$	
ν	-	$\sim 0,2$	
$\sum \mu_s$	cm^2/m	13,9	31,4
$\sum \mu = \frac{\sum \mu_s}{b \cdot h}$	-	0,0075	0,0775
$K_b / E_b \cdot J_{bi}$	-	$\sim 0,25$	$\sim 0,31$

Ergebnisse					
$\Delta T_w \approx 60 ^{\circ}\text{C}$	$M_{\Delta T}^I \approx 207 \text{ kNm/m}$	$M_{\Delta T}^I$	~ 50	1	$\frac{\text{kNm}}{\text{m}}$
			~ 65	2	$\frac{\text{kNm}}{\text{m}}$

Anlage 8.6 : Temperaturzwang



Legende:

- 1 : Statik 1930
- 2 : 1055-6 Fülldruck (zentr.)
- 3 : 1055-6 Entleerung (zentr.)
- 4 : EB Entleerung (exzentr.)
- 5 : NE-11 Fülldruck
- 6 : NE-11 Entleerung (zentr.)
- 7 : Empfehlung in [9]

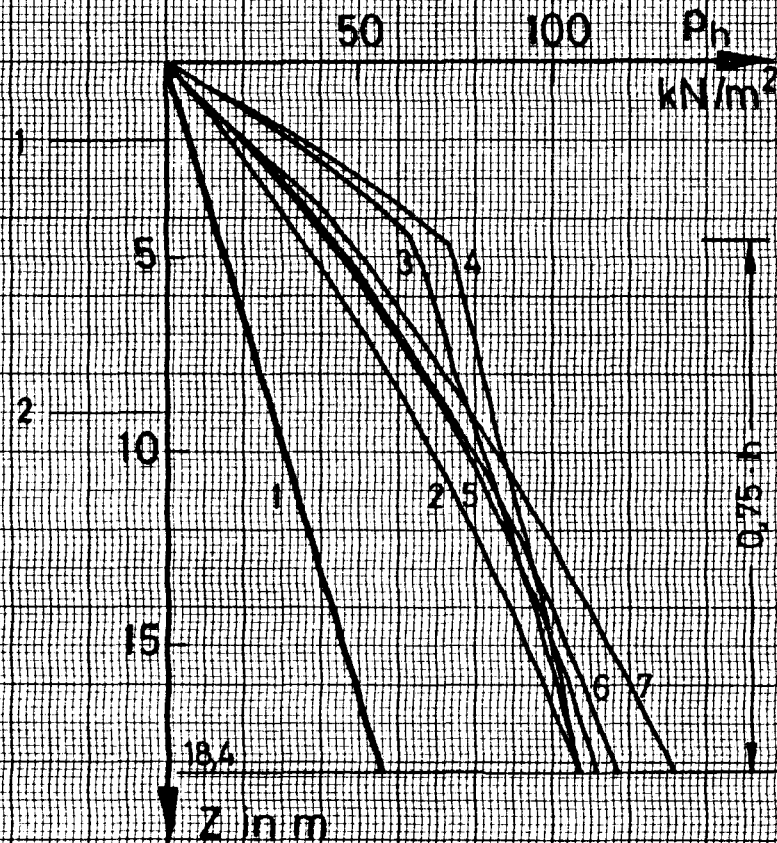
Anlage 8.7: Horizontaldruck

Parameters	Dim.	Bausatz/K ₂ = statik	1055-6 1055-1	EB	NE-11	[9]		Zulassung								
						2 ≤ 4	2 ≥ 9									
μ	kN/m ³	10	17	17	16	20	16x2,0	17								
γ	°	33	20	20	28	17,5	30	20								
δ_f	°	—	20	20	—	—	—	—								
$\mu_f = \tan \delta_f$	—	—	0,364	0,364	0,40	—	—	—								
δ_e	°	—	20	20	—	—	30	—								
$\mu_e = \tan \delta_e$	—	—	0,364	0,364	—	—	0,5773	—								
γ_a	—	0,28	—	—	—	0,538	0,333	$\gamma_0 \approx 0,66$								
γ_f	—	—	0,50	0,50	0,65	—		—								
γ_e	—	—	1,00	1,00	—	—		—								
H/U	u_1	—	4,0	4,0	4,0	—		—								
e	u_1	—	24	24	—	—		—								
H_i/U_i	u_1	—	~5	—	—	—		—								
C_2 (EB)	—	—	—	1,0	—	—		—								
C_{E2} (EB)	—	—	—	1,133	<table><tr><td>h</td><td>e_h</td></tr><tr><td>> 32</td><td>1,3</td></tr><tr><td>24,4</td><td>~ 1,16</td></tr><tr><td>< 16</td><td>1,0</td></tr></table>	h	e_h	> 32	1,3	24,4	~ 1,16	< 16	1,0	—		—
h	e_h															
> 32	1,3															
24,4	~ 1,16															
< 16	1,0															
e_h (NE-11)	—	—	—	—		—		—								
C_b (NE-11)	—	—	—	—	1,3	—		—								

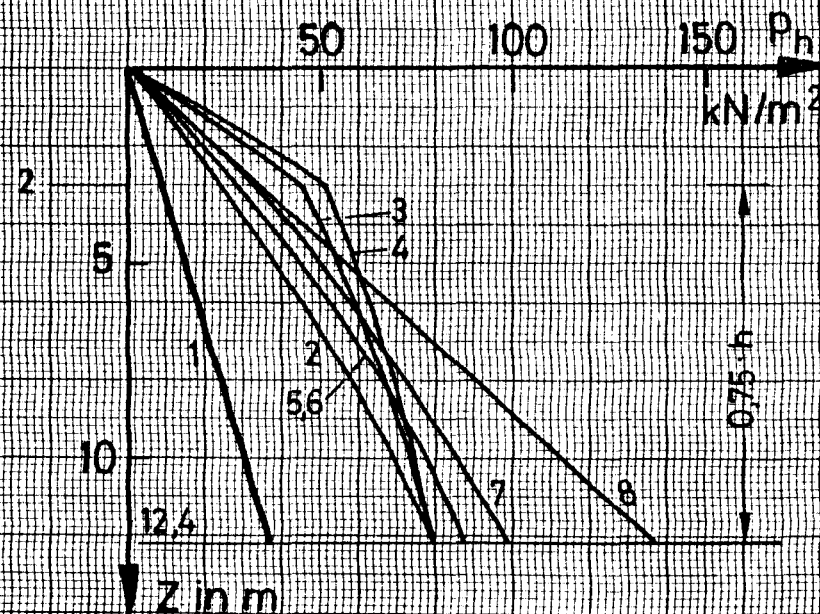
Anlage 8.8 : Kennwerte zur Druckermittlung



- Legende :**
- 1: Statik
 - 2: 1055-6 Fülldruck - zentr.
 - 3: 1055-6 Entleerung - zentr.
 - 4: EB Entleerung-exzentr.
 - 5: NE-II Fülldruck
 - 6: NE-II Entleerung (zentr.)
 - 7: Empfehlung in 9
 - 8: Ruhedruck



a) Teilfüllung 75%



b) Teilfüllung 50%

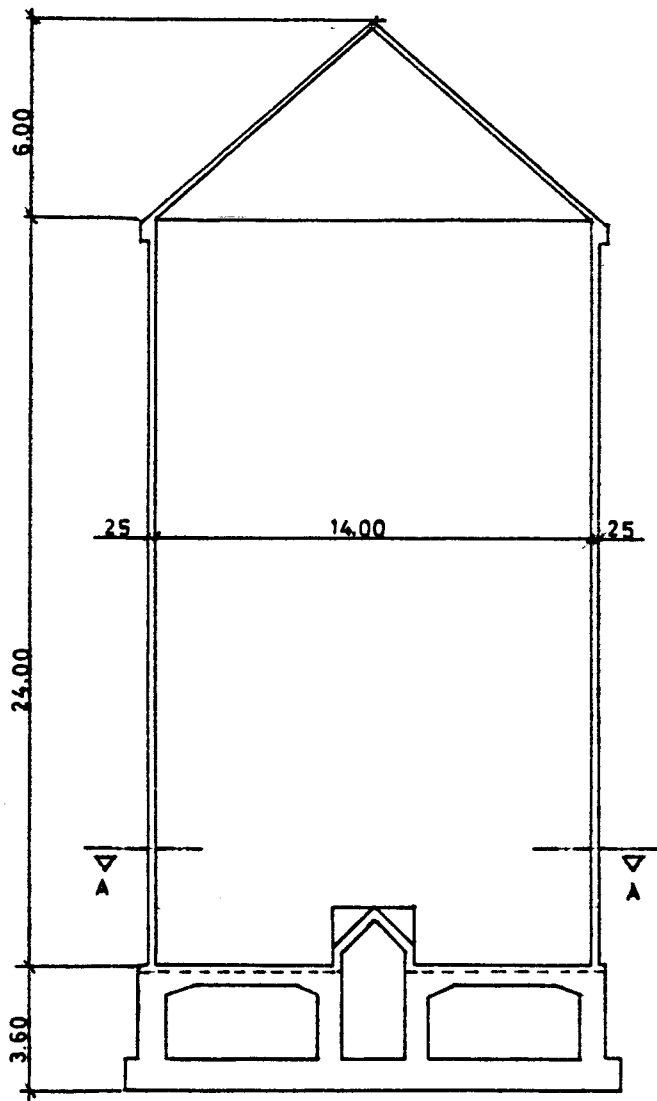
Anlage 8.9 : Horizontaldruck bei Teilfüllung

		Ram- werks- statik	10JS-6, FB	10JS-6, FB	FB	NE-11	NE-11	[9]
			zent. Füllen	zent. Entleeren	1x zent. Entleeren	zent. Füllen	zent. Entleeren	
		%	kN / m ²					
Schnitt 1	100	23,6	57,0	84,3	93,8	64,9	75,3	70,9
	75	5,6	16,2	37,7	36,7	19,5	20,3	27,5
	50	-	-	-	-	-	-	-
Schnitt 2	100	44,2	92,4	102	107	99,6	116	114
	75	26,2	62,8	77,3	84,3	70,3	73,9	77,9
	50	8,3	23,8	44,6	57,8	25,3	28,3	32,3

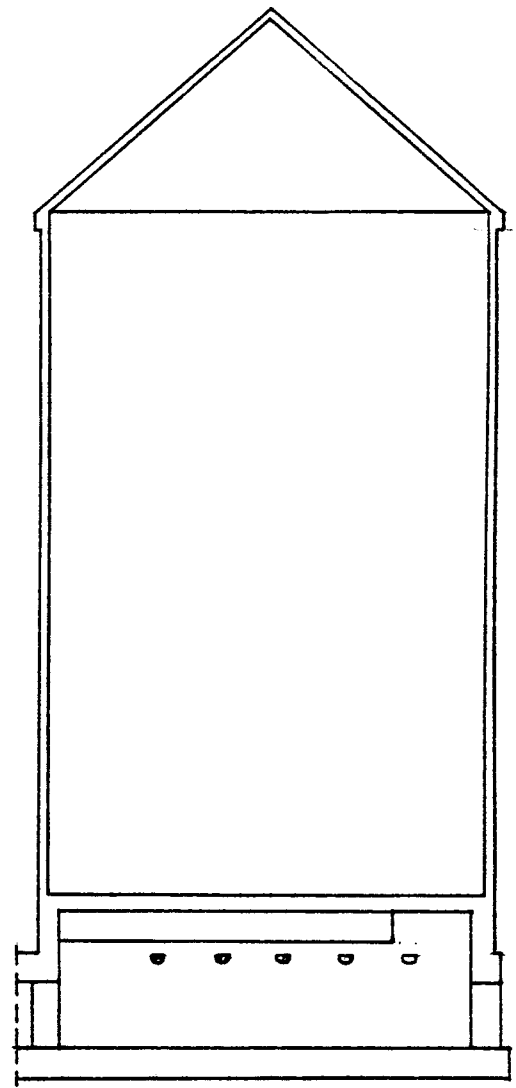
Anlage 8.10: Horizontaldruck in Schnitt 1 und 2

Lastansatz	Füll- grad	Schnitt 1		Schnitt 2	
		Z_1	M_{1u}	Z_2	M_{2u}
	%	$\frac{kN}{m}$	$\frac{kNm}{m}$	$\frac{kN}{m}$	$\frac{kNm}{m}$
Bauwerksstatik	100	189	20	354	53
	75	45	42	270	84
	50	—	$49,5 \sim M_{AT,1}^{II}$	66	$93 > M_{AT,2}^{II}$
1055-6 feuch. Füllen	100	456	< 0	733	< 0
	75	130	29	502	31
	50	—	49,5	191	76
1055-6 feuch. Entleeren	100	675	< 0	814	< 0
	75	249	10	618	15
	50	—	49,5	357	53
EB 1055-6, Entl.	100	750	< 0	858	< 0
	75	288	3	674	3
	50	—	49,5	414	44
NE feuch. Füllen	100	519	< 0	792	< 0
	75	156	25	569	20
	50	—	49,5	226	72
NE feuch. Entl.	100	602	< 0	924	< 0
	75	162	24	591	$17 \sim 0,25 \cdot M_{AT,2}^{II}$
	50	—	49,5	226	72
Nach [9]	100	567	< 0	917	< 0
	75	172	22	623	11
	50	—	49,5	258	67

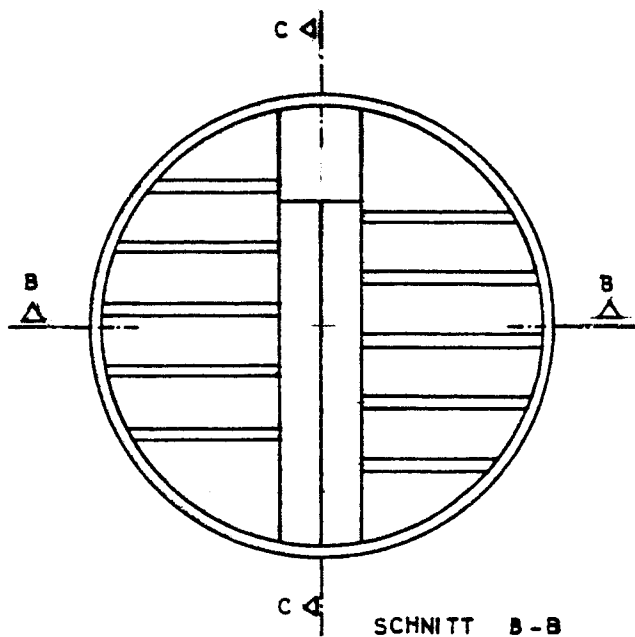
Anlage 8.11 : Ringzugkraft und Grenzmoment M_u



SCHNITT B - B



SCHNITT C - C



SCHNITT B - B

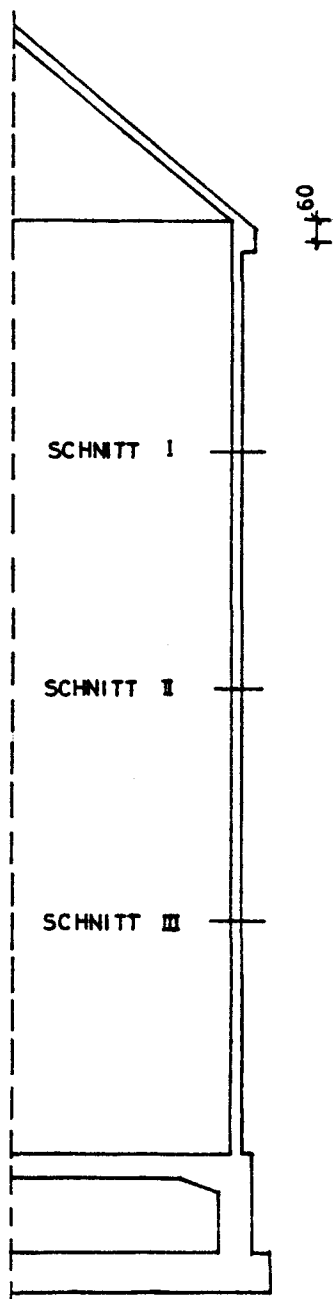
ANLAGE 9.1

GRUNDRISS UND SCHNITTE

Bruch- stück	Lage	ds	Stoßlängen	Mittelwert \bar{f}	Lü (DIN 1045) in cm	
		mm	cm	cm	$R_s = 350 \text{ N/mm}^2$	$R_s = 440 \text{ N/mm}^2$
I	außen	∞ 5	80-61-50	64	25	31
		7	45	-	35	44
	innen	5	80-44-86-60	67,5	25	31
		7	64	-	35	44
II	außen	5	51-60-74-49	58,5	25	31
		7	40-55	50	35	44
	innen	5	45-72	83,5	25	31
		8	44	-	40	50
III	außen	5	51-10-46-21	32	25	31
		7	22	-	35	44
	innen	8	55	-	40	50
IV	außen	5	40-32-60	44	25	31
		6	53	-	30	38
		7	62	-	35	44
	innen	5	71-41-46	53	25	31
V	außen	5	50-35-70-105-50	62	25	31
		7	40-60	50	35	44
	innen	5	30-45-25-50	37,5	25	31
		7	40	-	35	44

$L_{\bar{u}} (\text{DIN 1045}) = \alpha_{\bar{u}} \cdot \alpha_{\bar{L}} \cdot \frac{d_s \cdot R_s}{f_{\text{zul}} \cdot T_1}$ $= 0,143 \cdot 0,5 \cdot \frac{R_s}{f_{\text{zul}}}$	B25 Festig-Stahl zul T_1 (Ber. I) $> 0,7 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$ $\alpha_{\bar{u}} = 1,0 \quad \alpha_{\bar{L}} = 0,70$
---	--

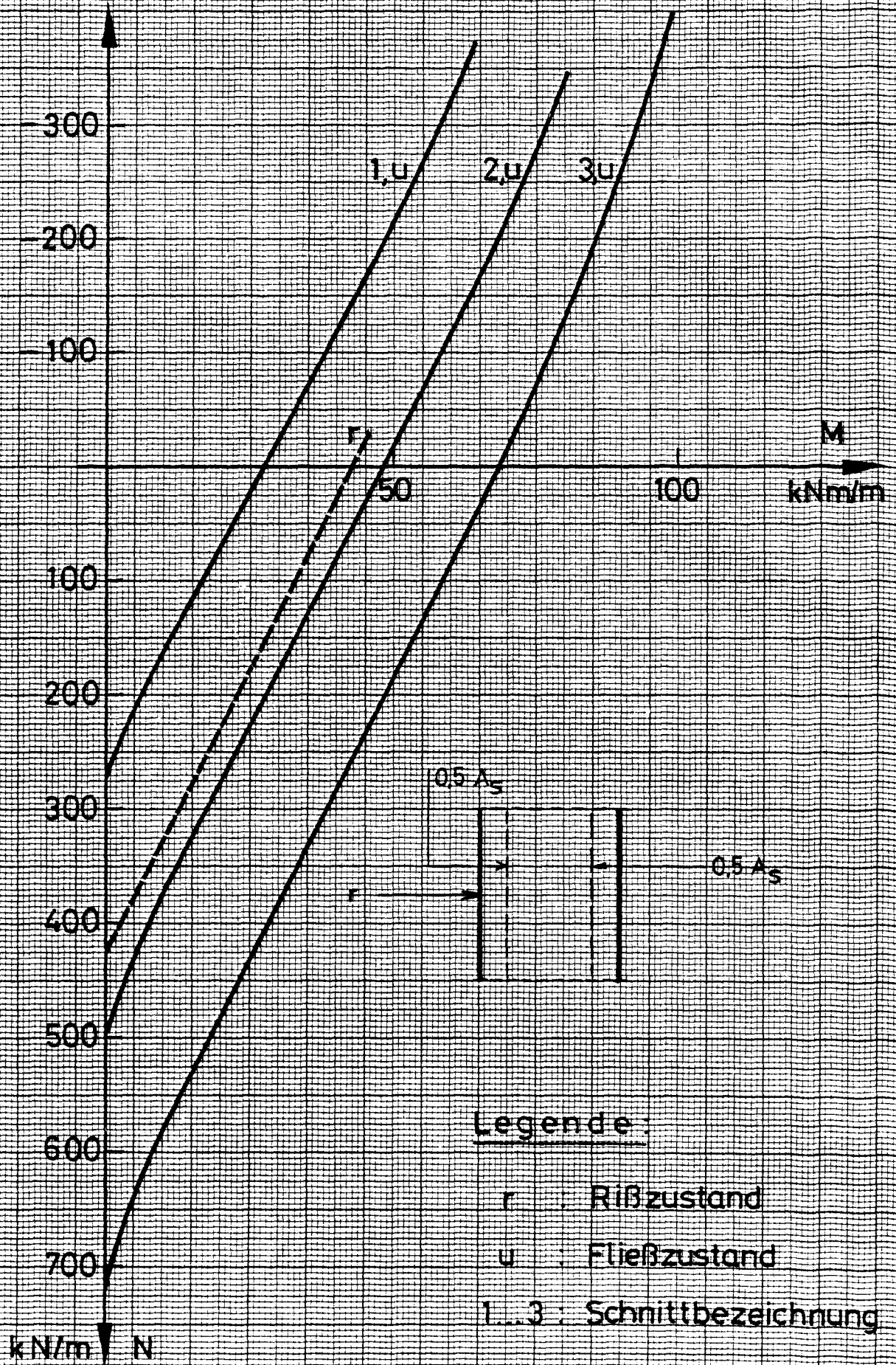
Anlage 9.2: Gegenüberstellung vorhandener und erforderlicher Stoßlängen



	BEWEHRUNG IN RINGRICHTUNG JE M	A _S CM ² /M
2.0	10 ∅ 6	2.83
4.0	10 ∅ 5	4.00
6.0	5 ∅ 7 + 5 ∅ 5,5	6.22
8.0	10 ∅ 7	7.70
10.0	10 ∅ 8	10.10
12.0	5 ∅ 9 + 5 ∅ 8	11.30
14.0	5 ∅ 12 + 5 ∅ 5	13.30
16.0	5 ∅ 12 + 5 ∅ 7	15.15
18.0	5 ∅ 12 + 5 ∅ 8	16.33
20.0	5 ∅ 14 + 5 ∅ 5,5	17.76
22.0	5 ∅ 14 + 5 ∅ 7	19.24
23.4	5 ∅ 14 + 5 ∅ 8	20.50

∅: ISTEG STAHL

ANLAGE 9.3 : BEW. IN RINGRICHTUNG



Anlage 9.4: Tragfähigkeitsgrenzlinien

Baustoff	Festigkeit	E-Modul in MN/m ²	$n = E_s/E_b$
Beton	B 25	30 000	7
Stahl	Steg-Stahl	210 000	

	$A_{sI} = 6,22 \text{ cm}^2/\text{m}$ $A_{sII} = 11,39 \text{ cm}^2/\text{m}$ $A_{sIII} = 16,33 \text{ cm}^2/\text{m}$
--	--

Querschnittswerte		Schnitt I	Schnitt II	Schnitt III
A_{bi}	m ² /m	0,254	0,257	0,260
y_{bi}	cm	12,5		
I_{bi}	m ⁴ /m	$13,2 \cdot 10^{-4}$	$13,4 \cdot 10^{-4}$	$13,6 \cdot 10^{-4}$
$W_{bi,innen}$	m ³ /m	$10,6 \cdot 10^{-3}$	$10,7 \cdot 10^{-3}$	$10,8 \cdot 10^{-3}$
$W_{bi,außen}$	m ³ /m	$10,6 \cdot 10^{-3}$	$10,7 \cdot 10^{-3}$	$10,8 \cdot 10^{-3}$

Betonzugfestigkeit nach Rüsç [25] : $\beta = c \cdot 0,464 \sqrt[3]{\beta_{WN}^2}$						
	c 5%	β 5%	Dim.	c 50%	β 50%	Dim.
Zugfestigkeit β_Z	9,42	1,67	N	9,69	2,74	N
Biegezugfest. β_{BZ}	1,00	3,92	mm ²	1,43	5,68	mm ²

Rißschnittgrößen	Dimension	5% Fraktile	50% Fraktile
$Z_R = \beta_Z \cdot A_{bi}$	kN/m	~ 429	~ 704
$M_R = \beta_{BZ} \cdot W_{bi,außen}$	kNm/m	~ 42,5	~ 60,8

Anlage 9.5 : Rißschnittgrößen

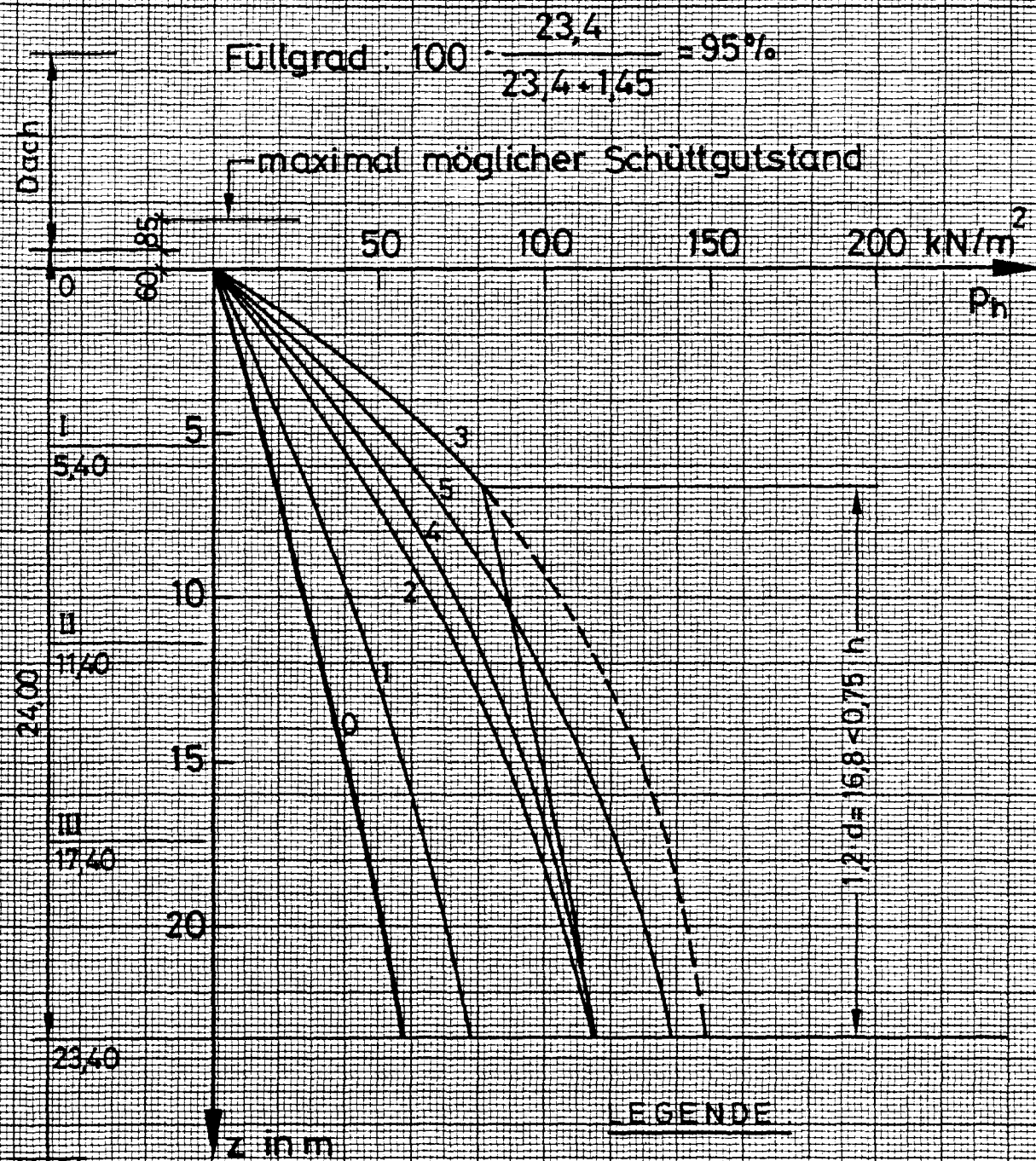
*) nach [30]

Allg. Formeln	
$\Delta T_w = \frac{g_{\Delta T} \cdot d}{d + \lambda \left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_a} \right)}$	$M_{\Delta T}^I = \frac{E_b \cdot J_{bi} \cdot \alpha_T \cdot \Delta T_w}{d (1 - \varphi)}$
$M_{\Delta T}^I = M_{\Delta T}^I \cdot \frac{K_b}{E_b \cdot J_{bi}}$	$K_b^*) = [0,2 + 6 \cdot \Sigma \mu_s] \cdot E_b \cdot J_{bi}$

Parameter	Dimension	Schritt I	Schritt II	Schritt III
T_i	$^{\circ}\text{C}$	~ 100		
T_a	$^{\circ}\text{C}$	~ 15		
$g_{\Delta T} = T_i - T_a$	$^{\circ}\text{C}$	~ 85		
λ Beton	$\frac{\text{Kcal}}{\text{m} \cdot \text{s} \cdot ^{\circ}\text{C}}$	$\sim 1,74$		
$\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_a}$	$\frac{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot ^{\circ}\text{C}}{\text{Kcal}}$	$\sim 0,20$		
α_T	$1/^{\circ}\text{C}$	10^{-5}		
b	m	$1,00$		
d	m	$0,25$		
h	m	$0,20$		
J_{bi}	m^4 / m	$\sim 13,4 \cdot 10^{-4}$		
E_b	MN / m^2	$3,0 \cdot 10^4$		
φ	-	$\sim 0,20$		
$\Sigma \mu_s$	cm^2 / m	6,22	11,39	14,33
$\Sigma \mu = \frac{\Sigma \mu_s}{b \cdot h}$	-	0,0031	0,0057	0,0082
$K_b / E_b \cdot J_{bi}$	-	$\sim 0,22$	$\sim 0,23$	$\sim 0,25$

Ergebnisse		
$\Delta T_w \approx 35 \text{ } ^{\circ}\text{C}$	$M_{\Delta T}^I \approx 70 \text{ kNm/m}$	$M_{\Delta T}^{II} \approx 15 \text{ kNm/m}$

Anlage 9.6 : Temperaturzwang



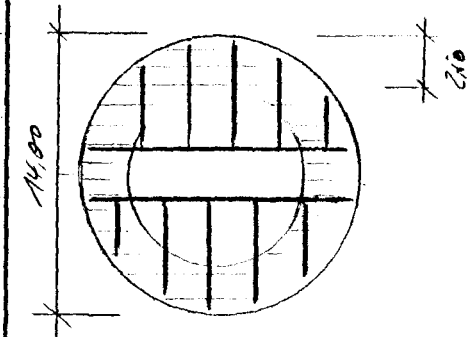
LEGENDE

- 0 : Bauwerksstatik
- 1 : Löser [26.]
- 2 : 1055-6-zentr. Füllen
- 3 : 1055-6-zentr. Entleeren
(EB - exzentri. Entleeren)
- 4 : NE-11 - zentr. Füllen
- 5 : NE-11 - zentr. Entleeren

Anlage 9.7: Horizontaldruck nach verschiedenen Annahmen bei einem Auslastungsgrad von 95 %

Parameter	Dim.	Baugewerk = Statik	Löser [26]	105-6 (EB) 105-1	NE-11
μ	MN/m^3	14	12	12	16
φ	°	40	25	20	28
δ_f	°	-	-	20	-
$\mu_f = \tan \delta_f$	-	0,30	0,30	0,364	0,40
δ_e	°	-	-	20	-
$\mu_e = \tan \delta_e$	-	-	-	0,364	-
γ_a	-	0,2174	0,4059	-	-
γ_f	-	-	-	0,50	0,65
γ_e	-	-	-	1,00	-
H/U	m	3,50	3,50	3,50	3,50
e	m	-	-	$\approx 1,25$	-
H_i / U_i	m	-	-	3,85	-
C_2 (EB)	-	-	-	-	-
C_{E2} (EB)	-	-	-	-	-
e_{L1} (NE-11)	-	-	-	-	-
C_b (NE-11)	-	-	-	-	-

Explanations



Anmerkungen:

- Ausfall von 50% des Schrauben auf einer Seite des Transports.
- Abzug überragend im schraffierten Bereich

$$e \approx \frac{1}{3} \frac{0,21225 (7^2 - 4,5^2)}{0,50 \pi (7^2 - 4,5^2)}$$

$$\approx \underline{\underline{1,25 \text{ m}}}$$

Ersthöhe für
Schützgut Regel

$$e_L \approx \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot \tan \gamma$$

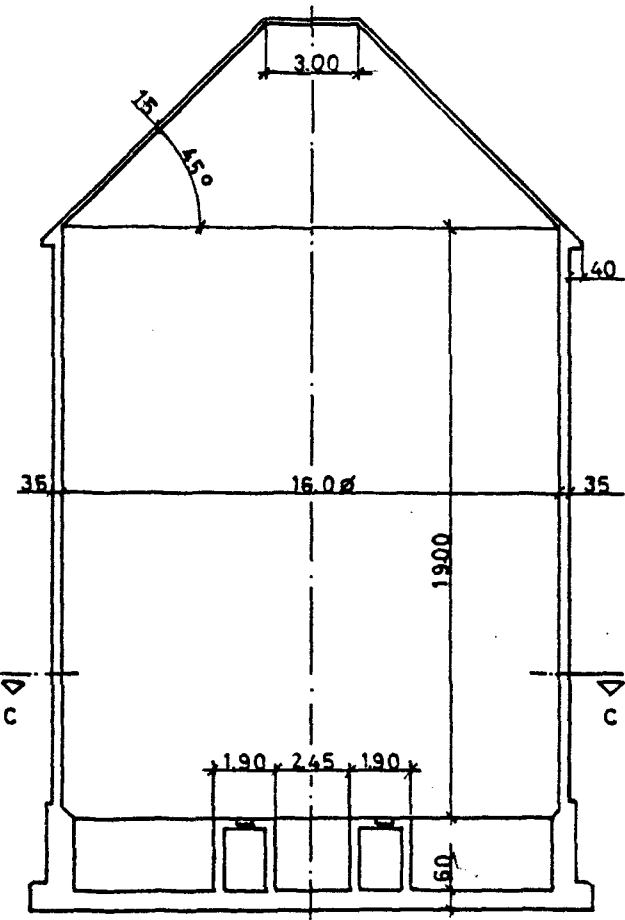
$$\approx \frac{7,0}{3} \cdot \tan 20^\circ \approx \underline{\underline{0,85 \text{ m}}}$$

Anlage 9.8 : Kennwerte zur Druckermittlung

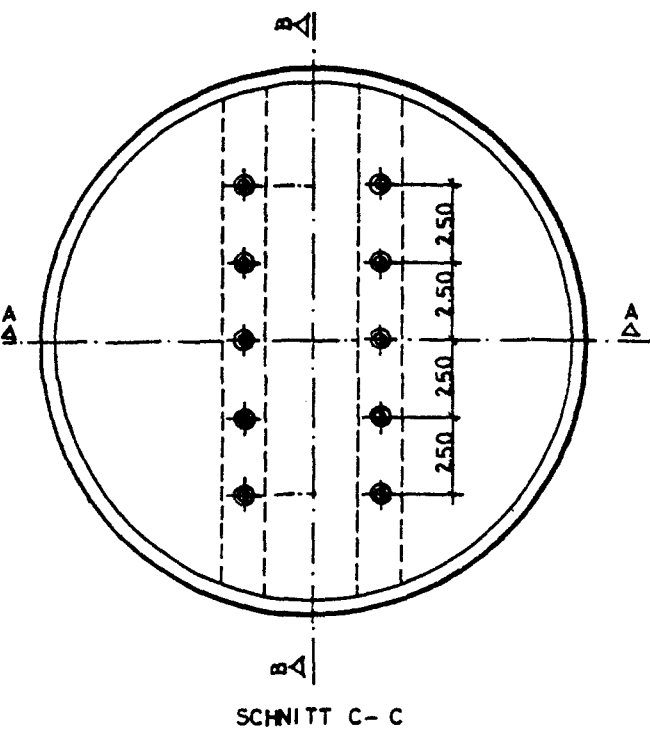
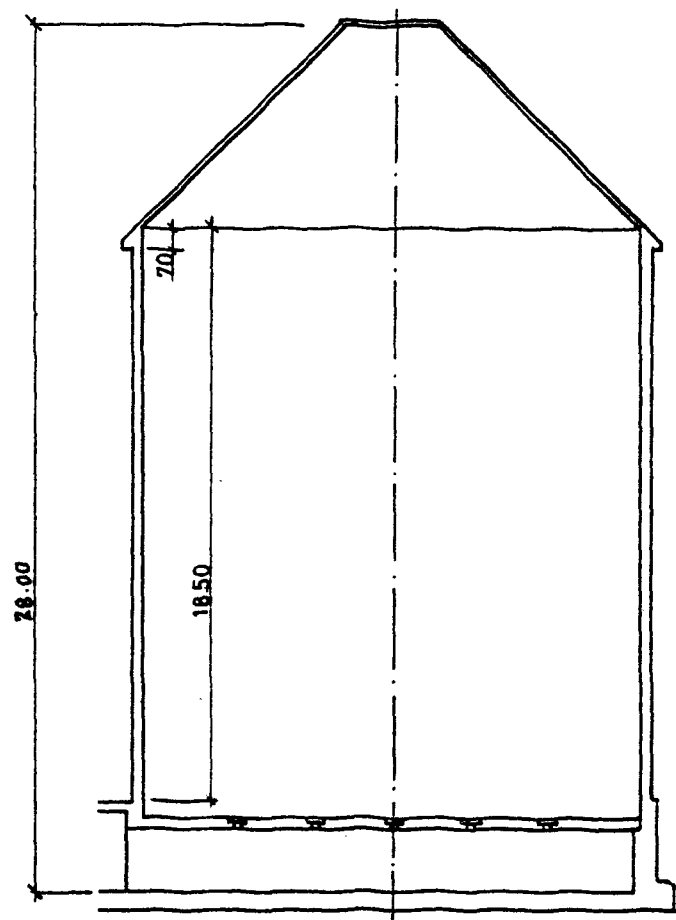
Lastansatz		Schnitt I			Schnitt II			Schnitt III			
		p_h	z	M_h	p_h	z	M_h	p_h	z	M_h	M^*
		KN/m^2	KN/m	KNm/m	KN/m^2	KN/m	KNm/m	KN/m^2	KN/m	KNm/m	KNm/m
Bauwerkskonstantik		15,6	109	15,5	37,3	213	26	45,2	317	36,5	22,2
LÖSUNG [26]		24,0	168	9	45,8	321	11,5	63,6	405	23,5	31,1
1055-6	Füllen, stat.	40,0	280	<0	73,1	512	<0	97,3	681	2	47,7
	Eutl. stat. (mit Abwind.)	70,2	492	<0	83,0	581	<0	99,1	693	1	48,5
	Eutl. stat. (ohne Abwind.)	70,2	492	<0	114	795	<0	132	957	<0	67,0
1055-11	Füllen, stat.	46,3	324	<0	80,0	560	<0	102	711	0,5	49,8
	Eutl. stat.	55,5	389	<0	96,0	672	<0	122	853	<0	
Grundsicherheitsprüfung		~39	274	=0	~72	501	=0	~103	718	=0	
$z = p_h \cdot r \approx 7 \cdot p_h$ $M_h = f(z)$ nach Anlage 9.4								$M^* = \alpha \cdot p_h \cdot \frac{r^2}{3}$ $= 0,03 \cdot p_h \cdot \frac{49}{3} \approx 0,49 p_h$			

Anlage 9.9: Schnittgrößen

SNITT A-A

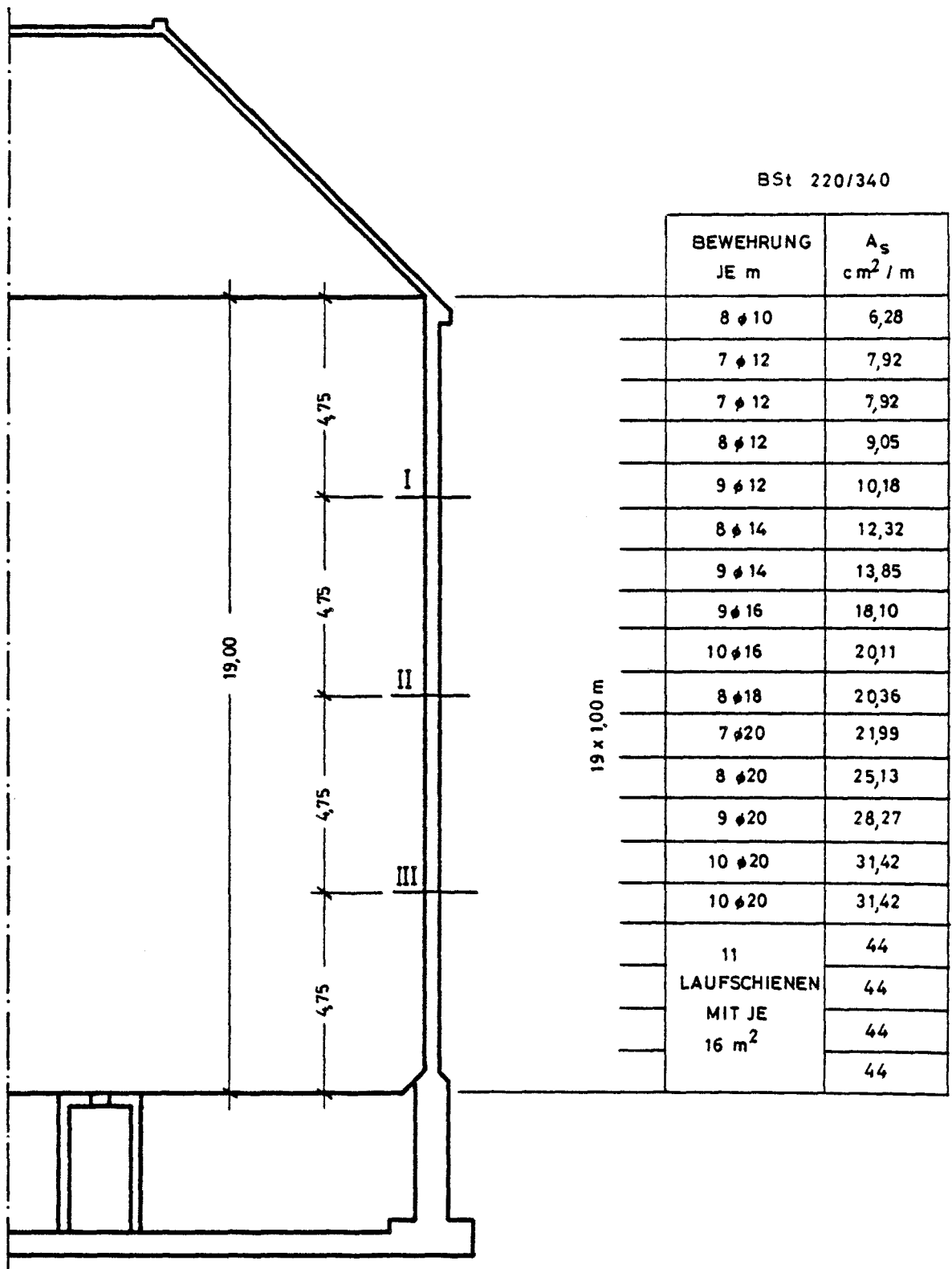


SNITT B-B

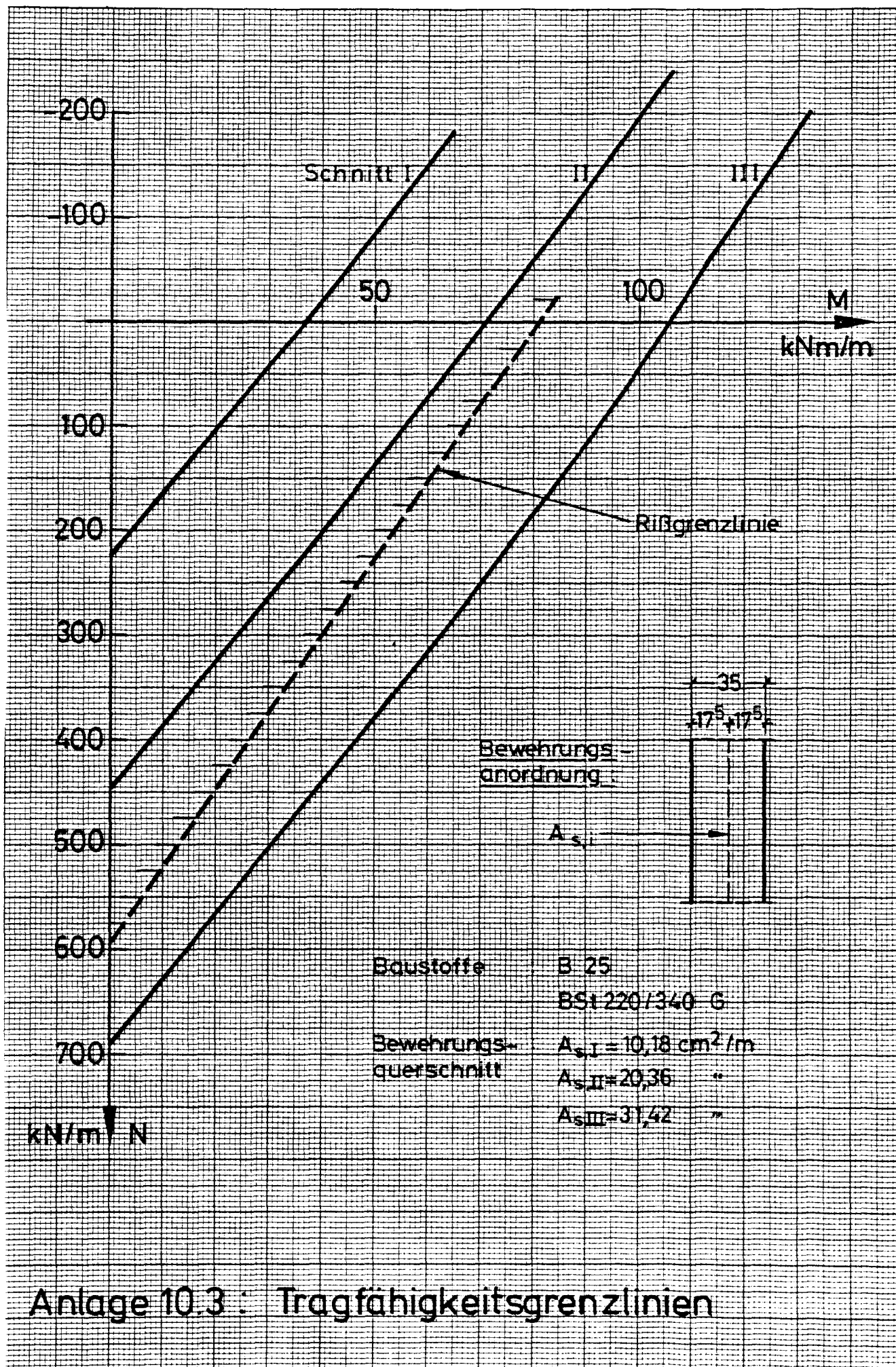


SNITT C-C

ANLAGE 10.1 GRUNDRISS UND SCHNITTE



Anlage 10.2 : Bewehrung in Ringrichtung



Anlage 10.3 : Tragfähigkeitsgrenzlينien

Baustoff	Festigkeit	E-Modul in MN/m ²	$n = E_s / E_b$
Beton	B 25	30 000	7
Stahl	BSt 220 / 340 G	210 000	

	$A_{sI} = 10,18 \text{ cm}^2/\text{m}$ $A_{sII} = 20,36 \text{ cm}^2/\text{m}$ $A_{sIII} = 31,41 \text{ cm}^2/\text{m}$
--	---

Querschnittswerte		Schnitt I	Schnitt II	Schnitt III
A_{bi}	m ² /m	0,356	0,362	0,363
y_{bi}	cm	17,5		
I_{bi}	m ⁴ /m	$35,7 \cdot 10^{-4}$		
$W_{bi, \text{innen}}$	m ³ /m	$20,4 \cdot 10^{-3}$		
$W_{bi, \text{außen}}$	m ³ /m	$20,4 \cdot 10^{-3}$		

Betonzugfestigkeit nach Rüsç [25] : $\beta = c \cdot 0,464 \sqrt[3]{\beta_{WN}^2}$						
	c 5%	β 5%	Dim.	c 50%	β 50%	Dim.
Zugfestigkeit β_Z	0,42	1,67	N	0,69	2,74	N
Biegezugfest. β_{BZ}	1,00	3,92	mm ²	1,43	5,68	mm ²

Rißschnittgrößen	Dimension	5% Fraktile	50% Fraktile
$Z_R = \beta_Z \cdot A_{bi}$	kN/m	~ 605	~ 992
$M_R = \beta_{BZ} \cdot W_{bi, \text{außen}}$	kNm/m	~ 87	~ 116

Anlage 10.4: Rißschnittgrößen

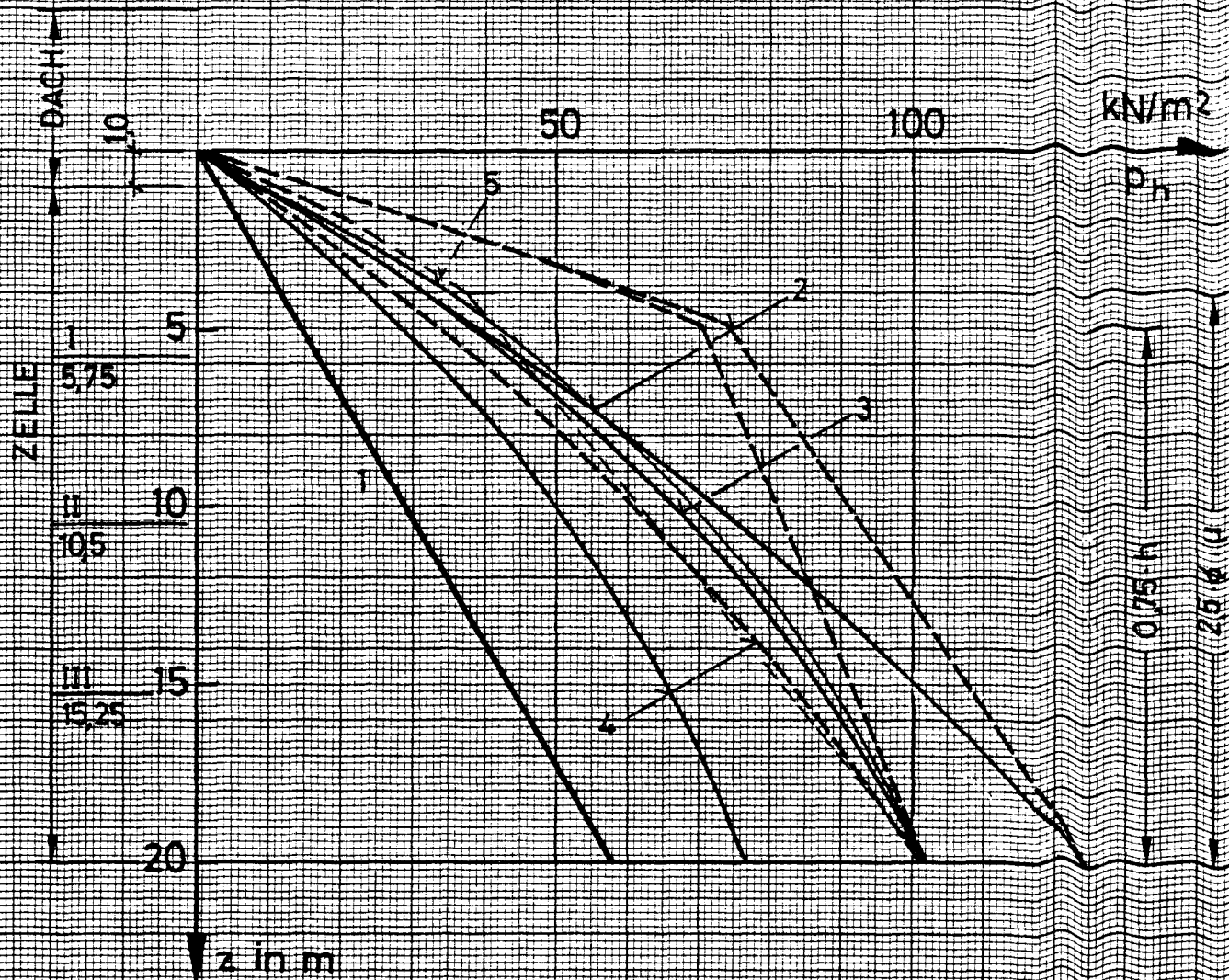
*) nach [30]

Allg. Formeln	
$\Delta T_w = \frac{g_{\Delta T} \cdot d}{d + \lambda \left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_a} \right)}$	$M_{\Delta T}^I = \frac{E_b \cdot J_{bi} \cdot \alpha_T \cdot \Delta T_w}{d (1 - \mu)}$
$M_{\Delta T}^E = M_{\Delta T}^I \cdot \frac{K_b}{E_b \cdot J_{bi}}$	$K_b^*) = [0,2 + 6 \cdot \Sigma \mu_s] \cdot E_b \cdot J_{bi}$

Parameter	Dimension	Schnitt I	Schnitt II	Schnitt III
T_i	$^{\circ}\text{C}$	100		
T_a	$^{\circ}\text{C}$	- 10		
$g_{\Delta T} = T_i - T_a$	$^{\circ}\text{C}$	110		
λ Beton	$\frac{\text{W kcal}}{\text{m h } ^{\circ}\text{C}}$	1,74		
$\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_a}$	$\frac{\text{m}^2 \cdot \text{h } ^{\circ}\text{C}}{\text{W kcal}}$	0,2		
α_T	$1/^{\circ}\text{C}$	10^{-5}		
b	m	1,00		
d	m	0,35		
h	m	0,775		
J_{bi}	m^4/m	$\sim 35,7 \cdot 10^{-4}$		
E_b	MN/m^2	$3,0 \cdot 10^4$		
μ	-	0,20		
$\Sigma \mu_s$	cm^2/m	10,78	20,36	37,47
$\Sigma \mu = \frac{\Sigma \mu_s}{b \cdot h}$	-	0,0058	0,0116	0,0175
$K_b / E_b \cdot J_{bi}$	-	0,24	0,22	0,37

Ergebnisse		
$\Delta T_w \approx 55 ^{\circ}\text{C}$	$M_{\Delta T}^I \approx 210 \text{ kNm/m}$	$M_{\Delta T}^E \approx 55 \text{ kNm/m}$

Anlage 10.5 : Temperaturzwang



Bezeichnungen :

- 1 : Bauwerksstatik
- 2 : 1055-6 (Nov. 64) u. 1055-1 (März 63)
- 3 : 1055-6 (Nov. 64) u. 1055-1 (Juli 78)
- 4 : Piper, Mortens, Kroll u. Wagner [69]
- 5 : Normenentwurf (11. Fassung)
- : Fullzustand
- : Entleerungszustand

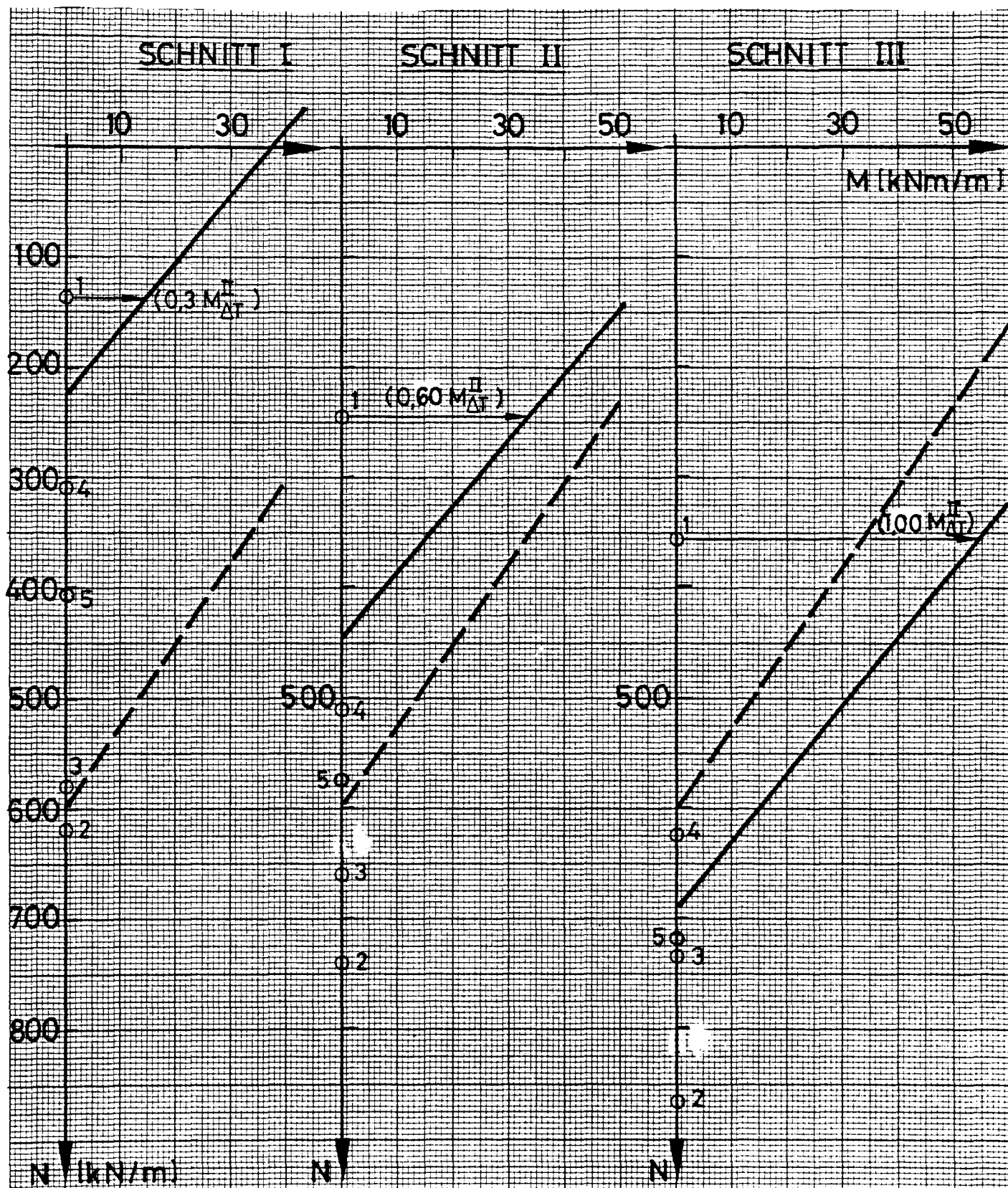
Anlage 10.6 : Horizontaldruck nach Bauwerksstatik und Silovorschriften

Parameters	Dim.	Bauwerks- statik	1055-6 (11.64) 1055-1 (3.63)	1055-6 (11.64) 1055-1 (7.78)	Pipes, u. a. [69]	NE-M.F.	Ersatzhöhe für Sicherheitsregel: $\Delta h = \frac{1}{3} \cdot r \cdot \tan \varphi$ $= \frac{8}{3} \cdot \tan 20$ <u><u>$\approx 1,00 \text{ m}$</u></u>								
μ	MN/m^3	10	17	18	15	18									
φ	°	33	20	36	36	33									
δ_f	°	-	15	27	-	-									
$\mu_f = \tan \delta_f$	-	-	0,2675	0,5095	0,56	0,55									
δ_e	°	-	12	21,6	-	-									
$\mu_e = \tan \delta_e$	-	-	0,2126	0,3955	0,34	-									
λ_a	-	0,25	-	-	-	-									
λ_f	-	-	0,50	0,50	0,45	0,55									
λ_e	-	-	1,00	1,00	0,50	-									
H/U	u_1	-	4,0	4,00	-	4,00									
e	u_1	-	-	-	-	-									
H_i / u_i	u_1	-	-	-	-	-									
C_2 (EB)	-	-	-	-	-	-									
C_{E2} (EB)	-	-	-	-	-	<table><tr><td>h</td><td>$e h_1$</td></tr><tr><td>$< 16,0$</td><td>1,0</td></tr><tr><td>20</td><td>1,10</td></tr><tr><td>$> 24,0$</td><td>1,4</td></tr></table>		h	$e h_1$	$< 16,0$	1,0	20	1,10	$> 24,0$	1,4
h	$e h_1$														
$< 16,0$	1,0														
20	1,10														
$> 24,0$	1,4														
e_{h_1} (NE-M)	-	-	-	-	-										
C_b (NE-M)	-	-	-	-	-	1,7									

Anlage 10.7 : Kennwerte zur Druckermittlung

NR	Lastenwerte	Schnitt I			Schnitt II			Schnitt III			Schnitt IV		
		$p_{he,i}$	$t_{e,i}$	η_i	$p_{he,i}$	$t_{e,i}$	η_i	$p_{he,i}$	$t_{e,i}$	η_i	$p_{he,i}$	$t_{e,i}$	η_i
		KN/m^2	KN/m		KN/m^2	KN/m		KN/m^2	KN/m		KN/m^2	KN/m	
1	Baumwerks- statik	16,7	134	1	30,5	244	1	44,2	354	1	58	Weg der 70 cm dicken Quers- fläche: keine Angabe	1
2	10JS-6 (11.64) 10JS-1 (3.63)	72,7	672	4,6	92,5	740	3	108	864	2,4	124		2,7
3	10JS-6 (11.64) 10JS-1 (7.78)	72,5	550	4,3	82,3	658	2,7	92	736	2,1	102		1,8
4	Pipes u. a. [69]	88,3	802	2,3	63,5	508	2,1	84,2	674	1,9	107		1,7
5	NE-M	50,8	406	3,0	^{*)} 71,7	574	2,4	^{*)} 89,6	717	2,0	102		1,8
		$\delta = p_{he} \cdot r \approx \delta p_{he}$				$\eta_i = p_{he,i} / p_{he,1}$				^{*)} Fülldruck ist unges.			

Anlage 10.8: Horizontaldrücke und Ringzugkräfte

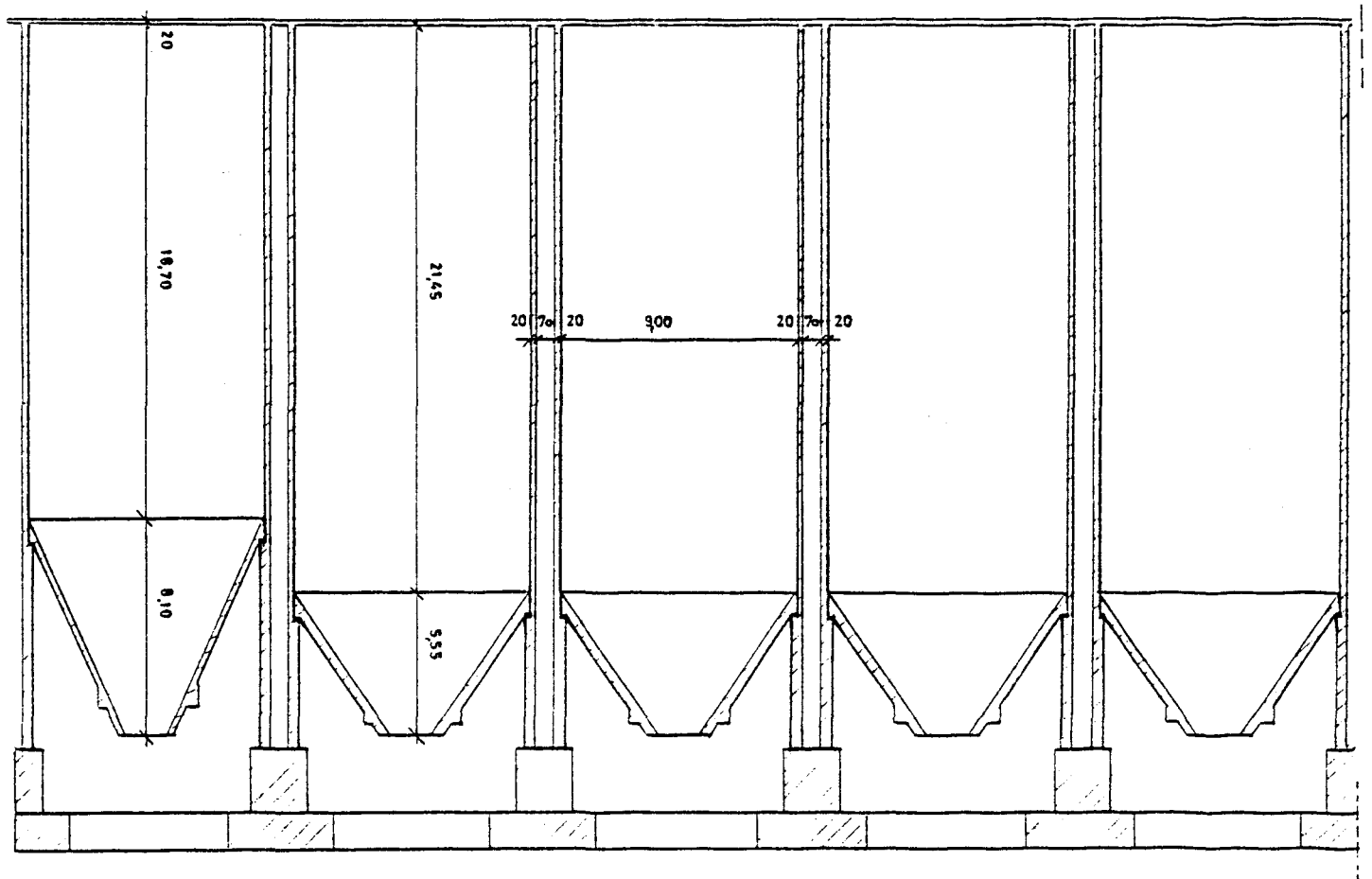
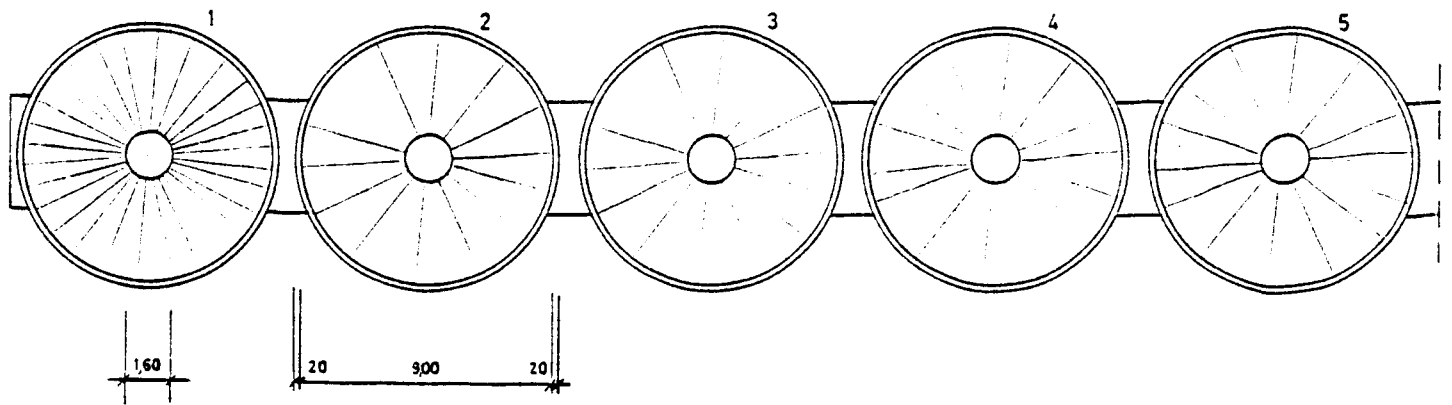


Legende : 1...5 (vergl. Anlage 10.8)

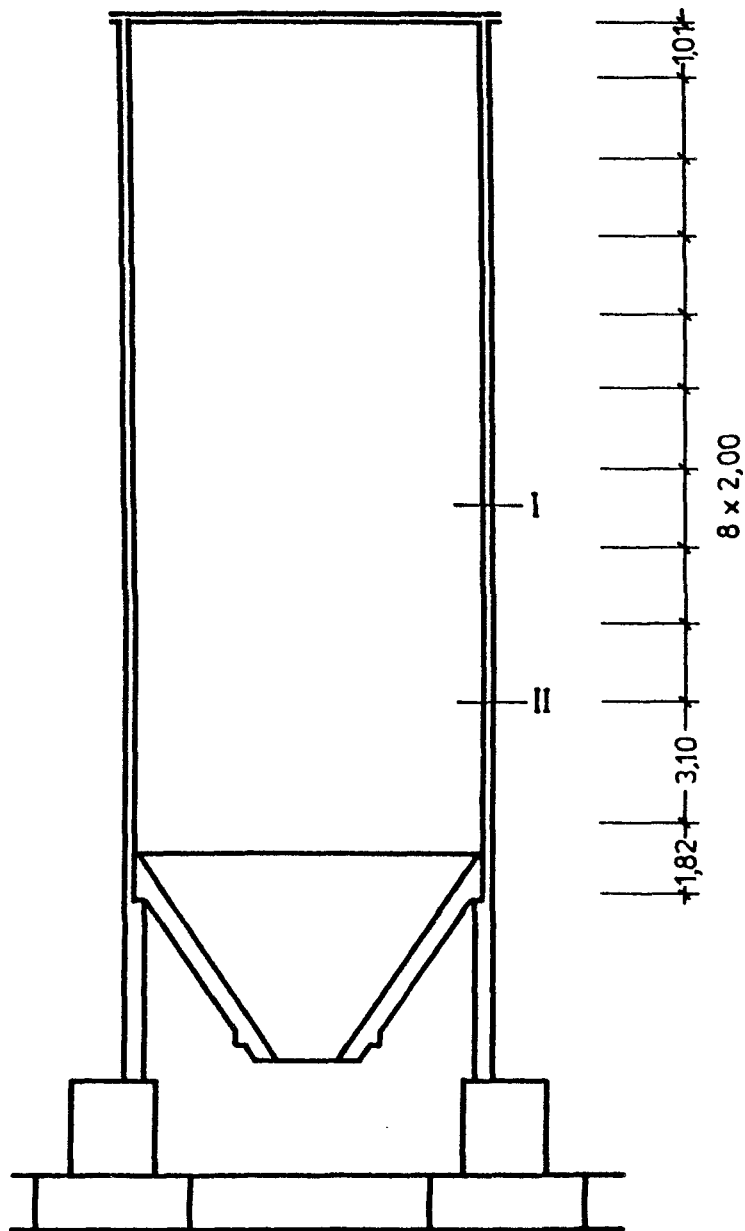
— Bruchgrenzlinie

- - - Rißgrenzlinie

**Anlage 10.9 : Ringzugkräfte und Grenzlinien
in den Schnitten I bis III**



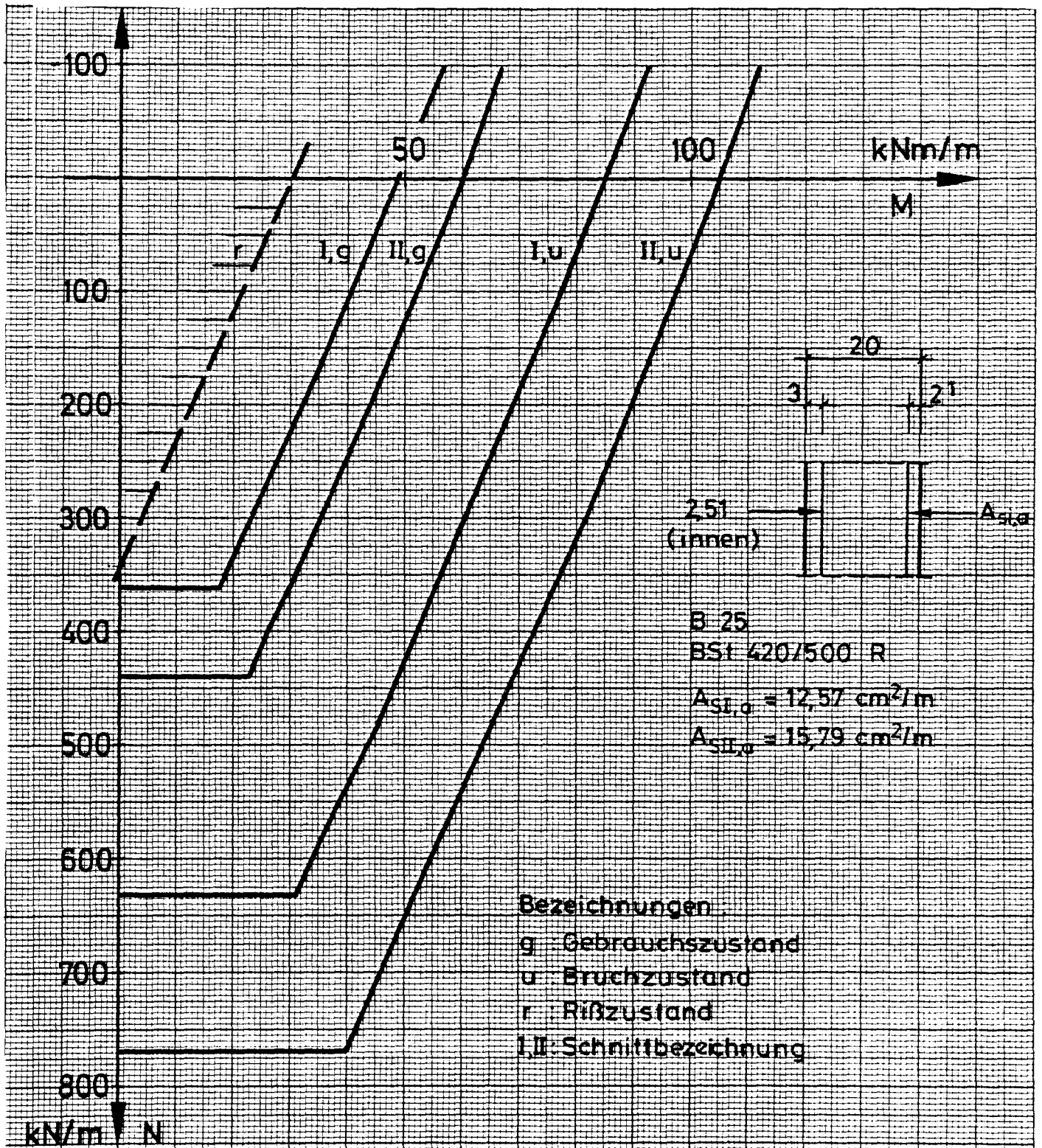
ANLAGE 11.1 : GRUNDRISS UND SCHNITT



III $\phi 8$ $s=20\text{ cm}$	$\phi 8, s=12,5$	6,53	274
	$\phi 8, s=10$	7,54	317
	$\phi 12, s=17$	9,17	385
	$\phi 12, s=14$	10,59	445
	$\phi 12, s=11$	12,79	537
	$\phi 12, s=10$	13,82	622
	$\phi 12, s=9$	15,08	633
	$\phi 12, s=8,4$	15,98	671
	$\phi 12, s=7,7$	17,20	722
	$\phi 12, s=6,7$	19,35	814
	$\phi 12, s=10$	13,82	580
innen	außen	cm^2 / m	kN / m
Bewehrung		ΣA_s	Z_u

$$Z_u = \Sigma A_s \cdot \beta_s = 42 \Sigma A_s$$

Anlage 11.2 : Bewehrung in Ringrichtung und aufnehmbarer Maximaldruck p_{hu}



Anlage 11.3 Tragfähigkeitsgrenzlinien

Baustoff	Festigkeit	E-Modul in MN/m ²	$n = \frac{E_s}{E_b}$
Beton	B 25	30 000	7
Stahl	BSt 420/500 R	210 000	

	$A_{SI,i} = A_{SI,i} = 2,57 \text{ cm}^2/\text{m}$ $A_{SI,a} = 12,57 \text{ cm}^2/\text{m}$ $A_{SI,a} = 15,78 \text{ cm}^2/\text{m}$
--	--

Querschnittswerte		Schnitt I	Schnitt II
A_{bi}	m ² /m	0,209	0,211
y_{bi}	cm	10,23	10,30
I_{bi}	m ⁴ /m	$7,2 \cdot 10^{-4}$	$7,3 \cdot 10^{-4}$
$W_{bi,innen}$	m ³ /m	$7,0 \cdot 10^{-3}$	$7,1 \cdot 10^{-3}$
$W_{bi,außen}$	m ³ /m	$7,4 \cdot 10^{-3}$	$7,5 \cdot 10^{-3}$

Betonzugfestigkeit nach Rüsç [25] : $\beta = c \cdot 0,464 \sqrt[3]{\beta_{WN}^2}$						
	c 5%	β 5%	Dim.	c 50%	β 50%	Dim.
Zugfestigkeit β_Z	0,42	1,67	N	0,69	2,74	N
Biegezugfest. β_{BZ}	1,00	3,97	mm ²	1,43	5,68	mm ²

Rißschnittgrößen	Dimension	5% Fraktile	50% Fraktile
$Z_R = \beta_Z \cdot A_{bi}$	kN/m	~ 357	575
$M_R = \beta_{BZ} \cdot W_{bi,außen}$	kNm/m	~ 30	~ 42

Anlage 11.4: Rißschnittgrößen

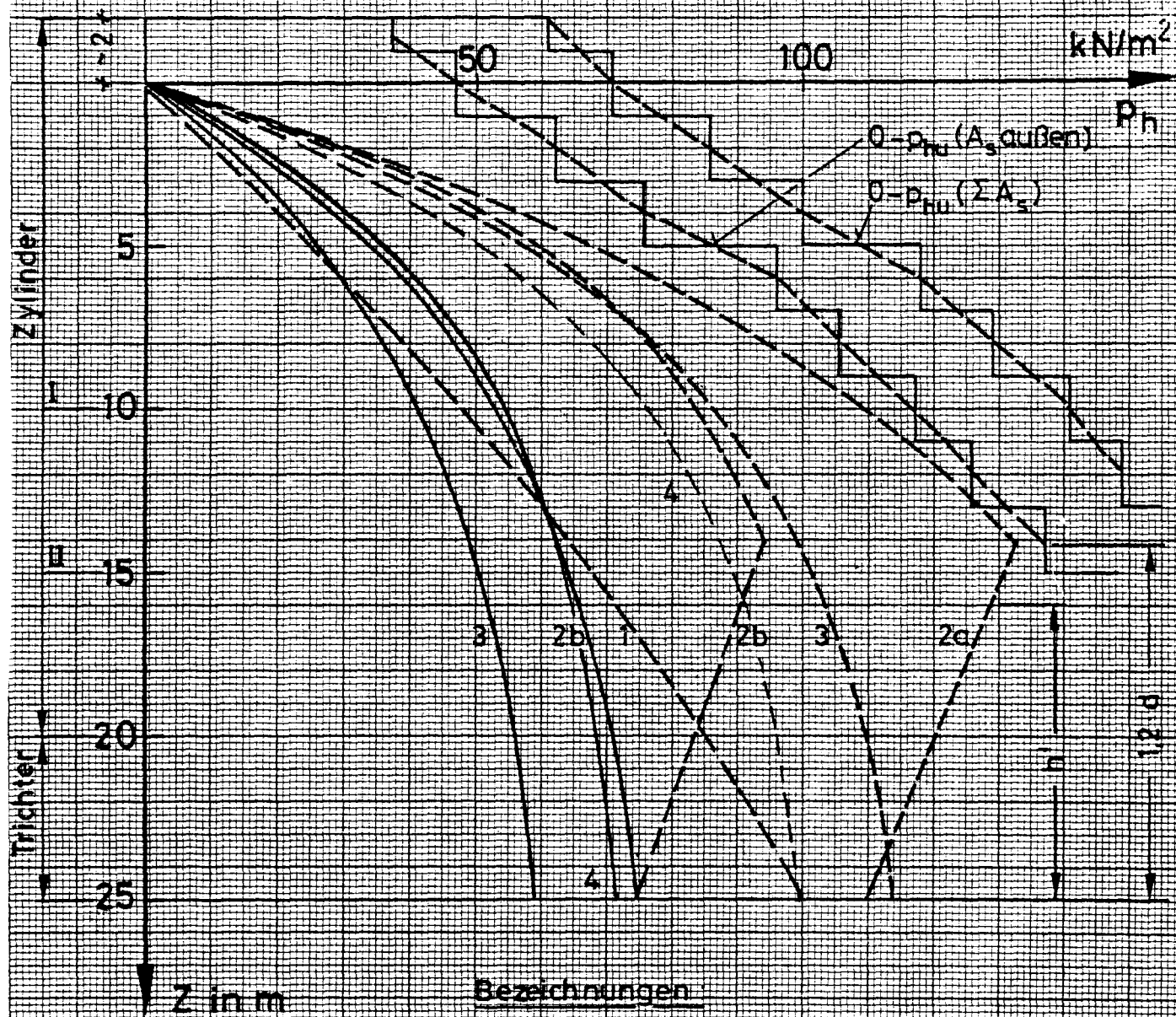
*) nach [30]

Allg. Formeln	
$\Delta T_w = \frac{g_{\Delta T} \cdot d}{d + \lambda \left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_a} \right)}$	$M_{\Delta T}^I = \frac{E_b \cdot J_{bi} \cdot \alpha_T \cdot \Delta T_w}{d (1 - \nu)}$
$M_{\Delta T}^{\text{II}} = M_{\Delta T}^I \cdot \frac{K_b}{E_b \cdot J_{bi}}$	$K_b^{\text{II}} = [0,2 + 6 \cdot \Sigma \mu_s] \cdot E_b \cdot J_{bi}$

Parameter	Dimension	Schritt I	Schritt II
T_i	$^{\circ}\text{C}$	~ 100	
T_a	$^{\circ}\text{C}$	-10	
$g_{\Delta T} = T_i - T_a$	$^{\circ}\text{C}$	110	
$\lambda \text{ Beton}$	$\frac{\text{W} \cdot \text{cm}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}$	$1,74$	
$\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_a}$	$\frac{\text{m}^2 \cdot \text{K}}{\text{W}}$	$0,2$	
α_T	$1/^{\circ}\text{C}$	10^{-5}	
b	m	$1,00$	
d	m	$0,20$	
h	m	$\sim 0,18$	
J_{bi}	m^4/m	$\sim 7,25 \cdot 10^{-4}$	
E_b	MN/m^2	$3,0 \cdot 10^4$	
ν	-	$0,2$	
$\Sigma \mu_s$	cm^2/m	$14,98$	$18,30$
$\Sigma \mu = \frac{\Sigma \mu_s}{b \cdot h}$	-	$0,0083$	$0,0102$
$K_b / E_b \cdot J_{bi}$	-	$\sim 0,25$	$\sim 0,26$

Ergebnisse		
$\Delta T_w \sim 40 \text{ } ^{\circ}\text{C}$	$M_{\Delta T}^I \sim 55 \text{ kNm/m}$	$M_{\Delta T}^{\text{II}} \sim 14 \text{ kNm/m}$

Anlage 11.5 : Temperaturzwang



Bezeichnungen

- 0 : Maximaldruck p ($\sigma_s = \beta_s$)
- 1 : Bauwerksstatik
- 2 : 1005-6 (Nov 64)
- 2a mit 1055-1 (März 68)
- 2b mit 1055-1 (Juli 78)
- 3 : Piper, Martens u.a. [69]
- 4 : Normentwurf (11. Fassung)
- : Fülldruck
- - - : Entleerungszustand

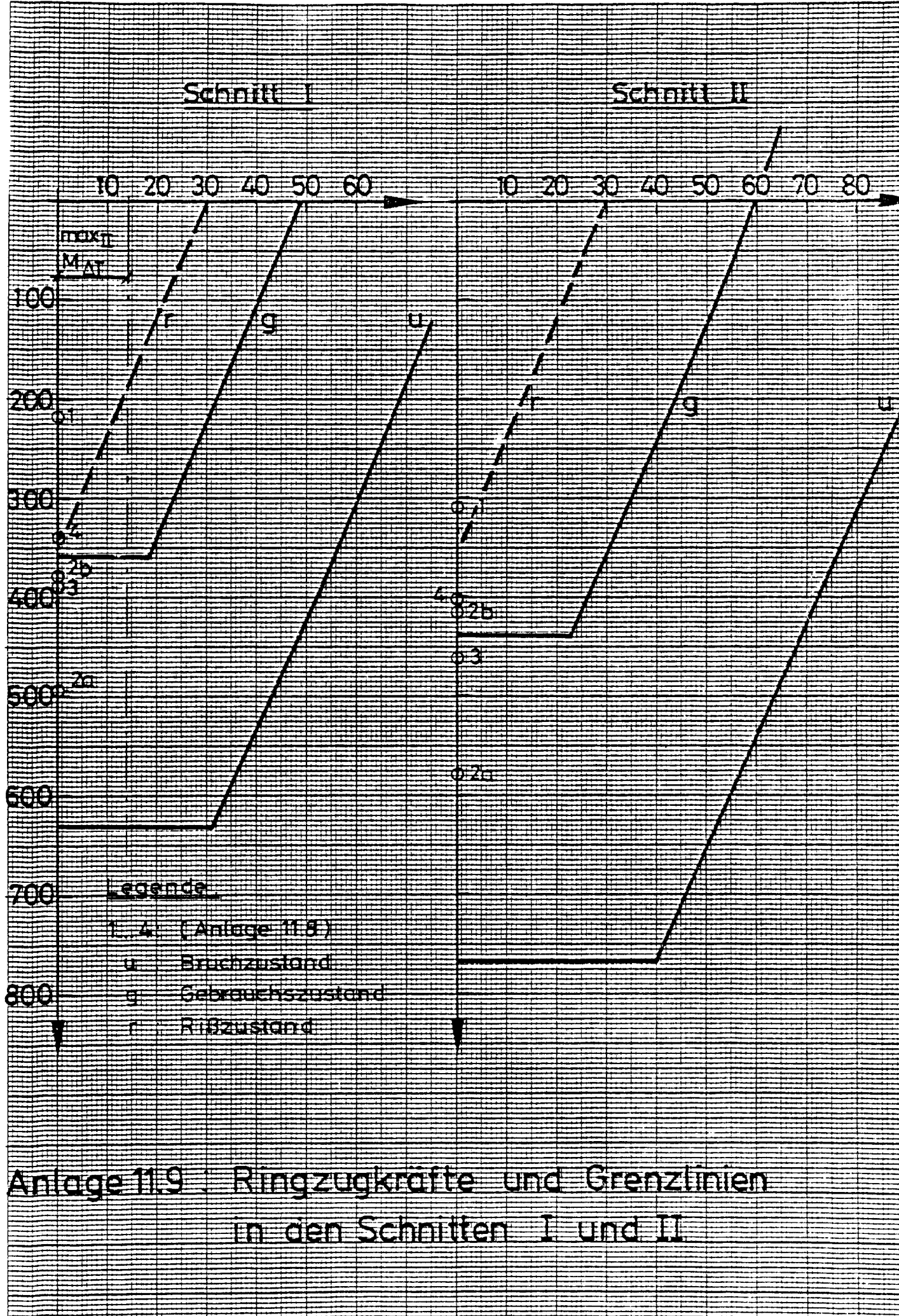
Anlage 11.6 : Horizontaldruck nach Bauwerksstatik und Silovorschriften

Parameter	Dim.	Bauwerks- statik	1055-6 105T-1 (3.63)	105T-6 105T-1 (7.78)	Pips u.g. [69]	NE-17.7.	
μ	MN/m^3	$15 \times 1,1$	17	18	$15 \times 1,4$	18	
γ	°	30	20	36	35,5	33	
δ_f	°	10	15	27	—	—	
$\mu_f = \tan \delta_f$	—	0,177	0,2675	0,5095	0,53	0,57	Ersthöhe für Schüttgut = Mögel:
δ_e	°	—	12	27,6	—	—	
$\mu_e = \tan \delta_e$	—	—	0,2126	0,5155	0,40	—	$1h = \frac{2}{3} \cdot \tan \gamma$ $= \frac{2}{3} \cdot 4,5 \cdot \tan 33$ <u>$\sim 2,00 \text{ m}$</u>
λ_a	—	0,333	—	—	—	—	
λ_f	—	—	0,50	0,50	0,45	0,55	
λ_e	—	—	1,00	1,00	0,75	—	
H/U	u_1	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	
e	u_1	—	—	—	—	—	
H_i / u_i	u_1	—	—	—	—	—	
C_2 (EB)	—	—	—	—	—	—	
C_{E2} (EB)	—	—	—	—	—	—	
e_h (NE-17)	—	—	—	—	—	1,40	
C_b (NE-17)	—	—	—	—	—	1,70	

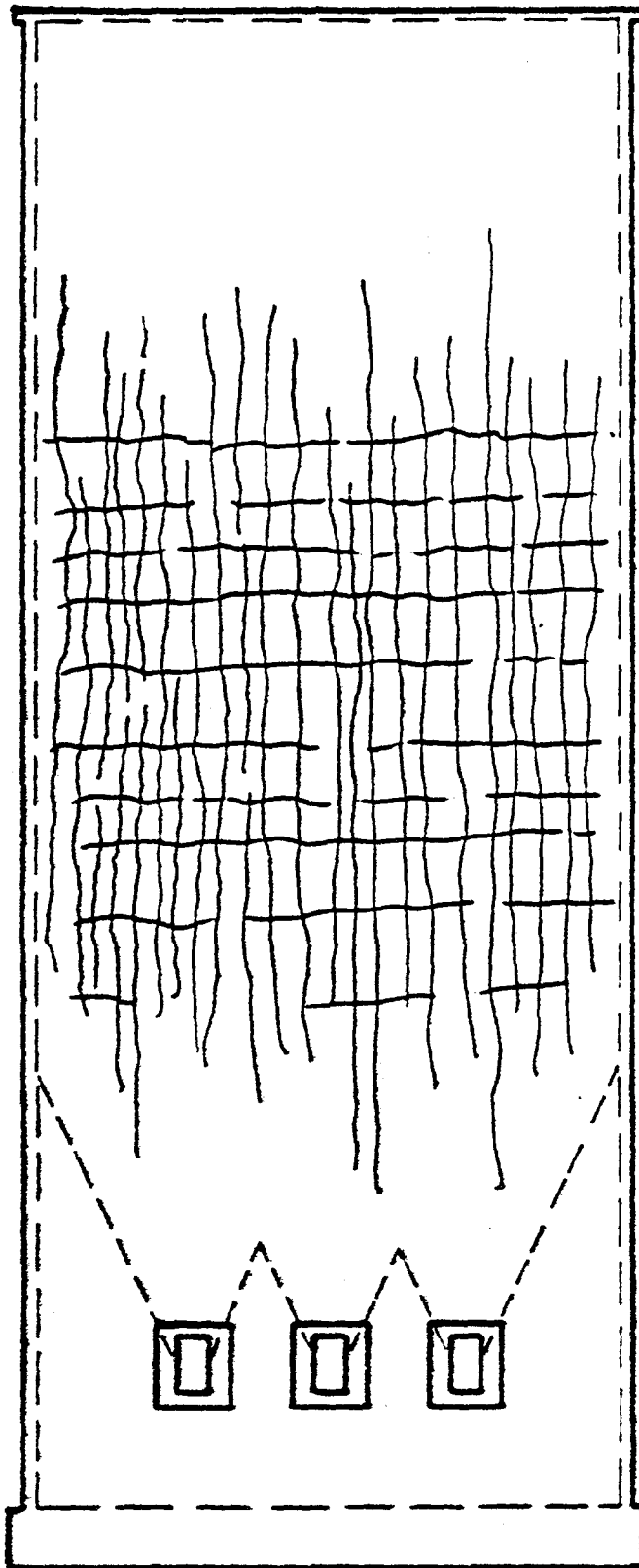
Anlage 11.7 : Kennwerte zur Druckermittlung

Nr.	Lastensatz	Schnitt I			Schnitt II		
		$p_{he,i}$	$f_{t,i}$	$\gamma_i = \frac{p_{he,0}}{p_{he,i}}$	$p_{he,i}$	$f_{t,i}$	$\gamma_i = \frac{p_{he,0}}{p_{he,i}}$
		kN/m ²	kN/m	-	kN/m ²	kN/m	-
0	Breitragfähigkeit	141	635	1,0	171	770	1,0
1	Zugdruckkonstante	48,3	217	2,93	68,2	302	2,51
2a	10JT-6 10JT-1 (3.63)	170	495	1,28	131	577	1,33
2b	10JT-6 10JT-1 (7.78)	84,7	581	1,67	42,5	416	1,85
3	Pipes, Fraktions, u.a. []	87,0	392	1,62	102	459	1,68
4	Normung M.F.	78,2	343	1,85	89,4	402	1,91

Anlage 11.8 : Horizontaldrücke und Ringzugkräfte



<http://www.digibib.tu-bs.de/?docid=00056046>



Rißabstand :

horizontal :

50 bis 150 cm

vertikal :

30 bis 60 cm

Rißbreite :

0,1 bis 0,3 mm

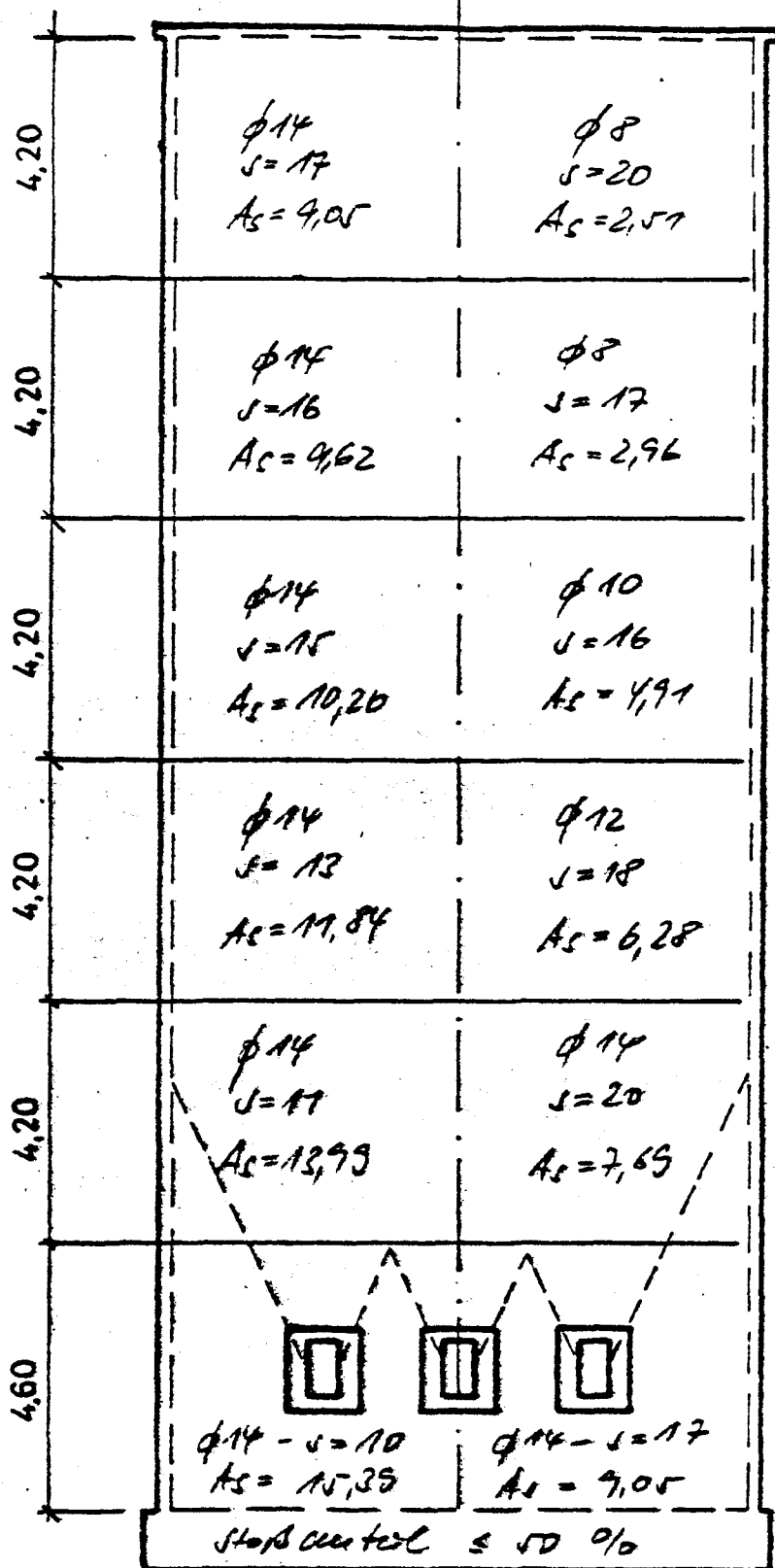
Anlage 12.2 : Rißbild - Skizze

Bewehrungslage

außen

innen

$Z A_s$ cm^2/m	P_{Stu} kN/m^2	E_u kN/m
19,56	97,7	486
12,58	106	528
15,77	127	637
18,72	152	767
27,68	182	917
24,44	205	1026
$E_u = Z A_s \cdot \sigma_s$		
$P_{\text{Stu}} = E_u / r$		

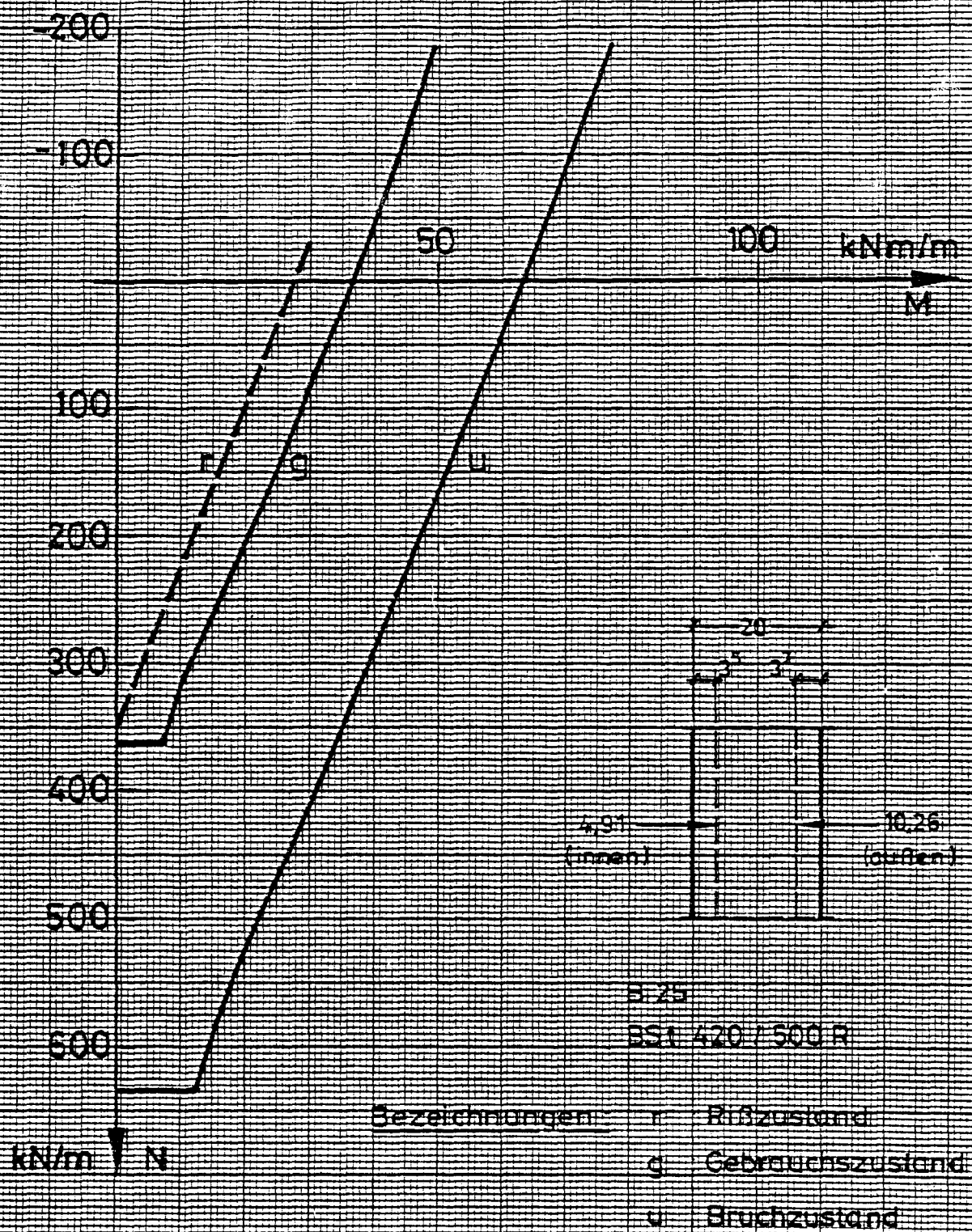


Stoßlängen :

	$\phi 8$	$\phi 10$	$\phi 12$	$\phi 14$
gem. Zus. p. Bau	75	100	110	125
DIN 1045, R25, Zus. II	54	67	80	137 *

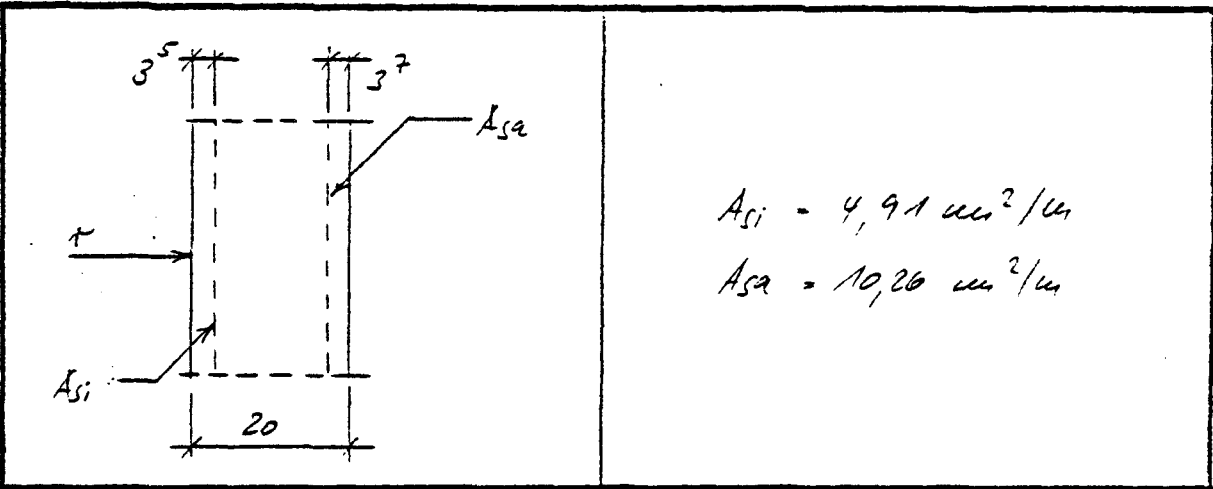
* $s < 10 d_s$

Anlage 12.3: Ringbewehrung



Anlage 12.4 : Tragfähigkeitsgrenzlinien
zu Schnitt 1

Baustoff	Festigkeit	E-Modul in MN/m ²	$n = E_s/E_b$
Beton	B 25	30 000	7
Stahl	BSt 420/500	210 000	



Querschnittswerte		Schnitt 1
A_{bi}	m ² /m	0,209
y_{bi}	cm	10,05
I_{bi}	m ⁴ /m	$7,03 \cdot 10^{-4}$
$W_{bi, \text{innen}}$	m ³ /m	$6,97 \cdot 10^{-3}$
$W_{bi, \text{außen}}$	m ³ /m	$7,10 \cdot 10^{-3}$

Betonzugfestigkeit nach Rüschi [25] : $\beta = c \cdot 0,464 \sqrt[3]{\beta_{WN}^2}$						
	c 5%	β 5%	Dim.	c 50%	β 50%	Dim.
Zugfestigkeit β_Z	0,42	1,62	N	0,69	2,74	N
Biegezugfest. β_{BZ}	1,00	3,92	mm ²	1,43	5,68	mm ²

Rißschnittgrößen	Dimension	5% Fraktile	50% Fraktile
$Z_R = \beta_Z \cdot A_{bi}$	kN/m	345	573
$M_R = \beta_{BZ} \cdot W_{bi, \text{außen}}$	kNm/m	~28	~40

Anlage 12.5 : Rißschnittgrößen

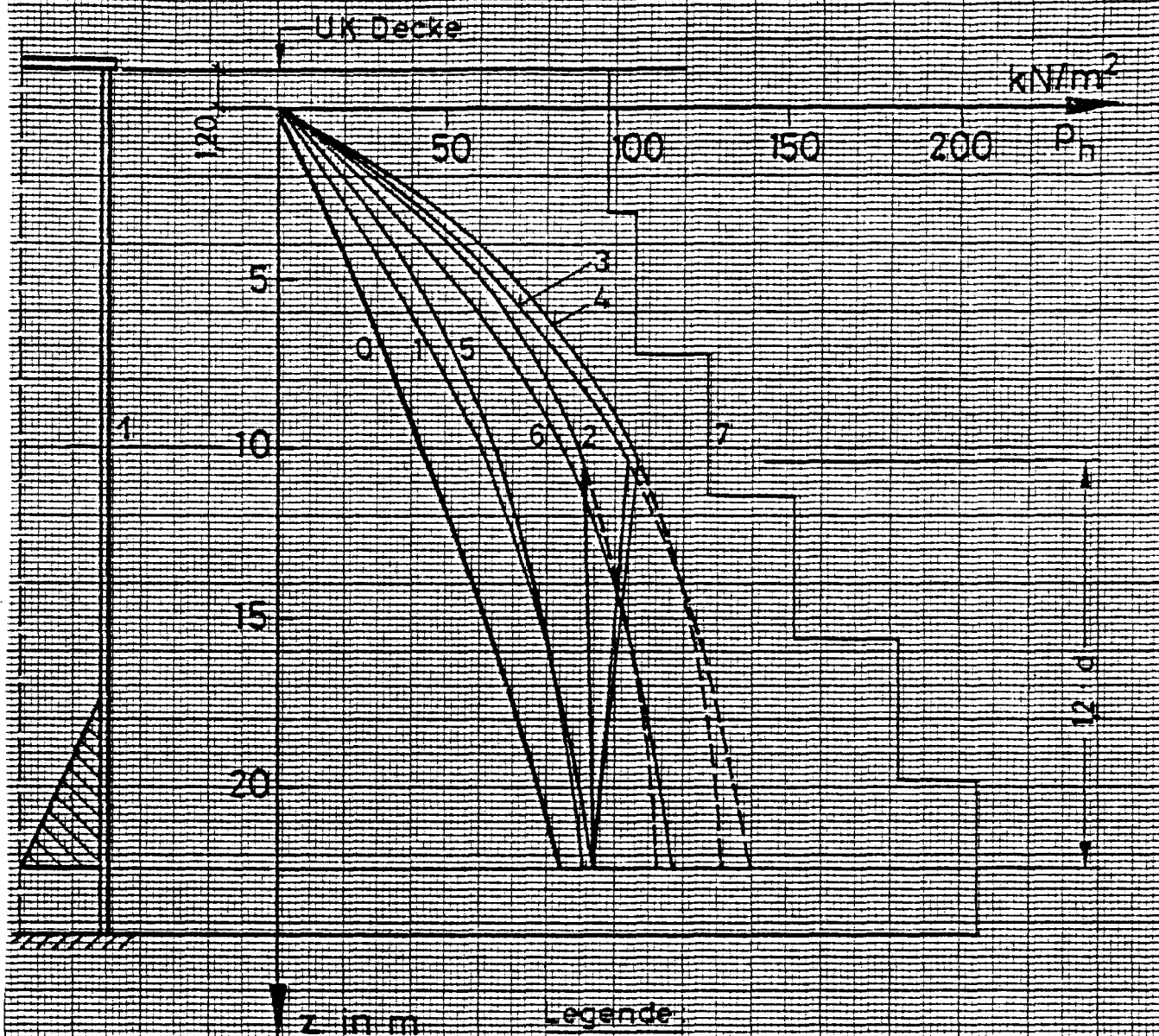
*) nach [30]

Allg. Formeln	
$\Delta T_w = \frac{g_{\Delta T} \cdot d}{d + \lambda \left(\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_a} \right)}$	$M_{\Delta T}^I = \frac{E_b \cdot J_{bi} \cdot \alpha_T \cdot \Delta T_w}{d (1 - \varphi)}$
$M_{\Delta T}^I = M_{\Delta T}^I \cdot \frac{K_b}{E_b \cdot J_{bi}}$	$K_b^{*)} = [0,2 + 6 \cdot \Sigma \mu_s] \cdot E_b \cdot J_{bi}$

Parameter	Dimension	Skizze 1
T_i	$^{\circ}\text{C}$	~ 100
T_a	$^{\circ}\text{C}$	~ -10
$g_{\Delta T} = T_i - T_a$	$^{\circ}\text{C}$	110
λ Beton	$\frac{\text{Kcal}}{\text{m} \cdot \text{s} \cdot ^{\circ}\text{C}}$	1,74
$\frac{1}{\alpha_i} + \frac{1}{\alpha_a}$	$\frac{\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot ^{\circ}\text{C}}{\text{Kcal}}$	0,20
α_T	$1/^{\circ}\text{C}$	10^{-5}
b	m	1,00
d	m	0,20
h	m	0,76
J_{bi}	m^4/m	$7,83 \cdot 10^{-4}$
E_b	MN/m^2	$3,0 \cdot 10^4$
φ	-	0,2
$\Sigma \mu_s$	cm^2/m	15,72
$\Sigma \mu = \frac{\Sigma \mu_s}{b \cdot h}$	-	0,0095
$K_b / E_b \cdot J_{bi}$	-	0,26

Ergebnisse		
$\Delta T_w \approx 40 \text{ } ^{\circ}\text{C}$	$M_{\Delta T}^I \approx 53 \text{ kNm/m}$	$M_{\Delta T}^II \approx 14 \text{ kNm/m}$

Anlage 12.6 : Temperaturzwang



Legende:

- 0 Bauwerksstatik
- 1 1055-6-Fülldruck
- 2 1055-6-Entleerung, zentr.
- 3 1055-6-Entleerung, exzentr.
- 4 Erg.-Best.-Entleerung, exzentr.
- 5 NE-11-Fülldruck, zentr.
- 6 NE-11-Entleerung, zentr.
- 7 Grenzdruck, bei $\sigma = \beta_s$

Anlage 12.7: Horizontaldruck nach verschiedenen Berechnungsgrundlagen bei Maximalfüllung

Parameter	Dim.	Bauwerks- statik	1011-6 1011-1 (7.78)	25	NE-11
μ	MN/m^3	12	17	17	16
γ	°	25	20	20	28
δ_f	°	8,333	20	20	-
$\mu_f = \tan \delta_f$	-	0,1465	0,364	0,364	0,40
δ_c	°	-	20	20	-
$\mu_c = \tan \delta_c$	-	-	0,364	0,364	-
γ_a	-	0,406	-	-	-
γ_f	-	-	0,50	0,50	0,65
γ_c	-	-	1,00	1,00	-
H/U	u_1	2,50	2,50	2,50	2,50
e	u_1	-	$\approx \frac{H}{3} = 3,33$	3,33	-
H_i / U_i	u_1	-	3,25	-	-
C_2 (EB)	-	-	-	1,0	-
C_{E2} (EB)	-	-	-	1,18	-
e_{H_1} (NE-11)	-	-	-	-	1,30
C_b (NE-11)	-	-	-	-	1,30

Erhaltung für
Schüttgutbegegnung

$$\Delta h = \frac{2}{3} \cdot r \cdot \tan \gamma$$

$$= \frac{2}{3} \cdot 5,0 \cdot \tan 20$$

$$\approx \underline{\underline{1,20 \text{ m}}}$$

Anlage 12.8 : Kennwerte zur Druckermittlung

Nr.	Lastansatz	Schnitt 1		
		$p_{h,i}$	$\sigma_{t,i}$	$\gamma_i = p_{h,i} / p_{h,i}$
		MN/m^2	MN/m	-
1	Drucklast statisch	43,4	217	2,94
2a	1055-6 Extr. Entleeren	89,5	448	1,42
2b	1055-6 Extr. Entleeren	102	511	1,25
3	EB Extr. Entleeren	105	525	1,27
4	Norm. Torsion N. T.	84	420	1,52
5	Maximaldruck $p_{h,i} (\sigma_s = \beta_s)$	127	637	1,00

Anlage 12.9 : Horizontaldrücke und Ringzugkräfte

Mittl. Rißabstand : [23]

$$a_m = \frac{1}{2} \cdot v_0 + k_1 (\ddot{u}, e) + k_2 \cdot k_3 \frac{\phi}{\mu_z}$$

$$\frac{1}{2} v_0 = \frac{\Delta \sigma_{er}^I \cdot \phi}{900} = \dots\dots\dots 3,4$$

$\Delta \sigma_{er}^I = \sigma_{er}^I - n \cdot \sigma_{bz}$	$\frac{N}{cm^2}$	2184
$\sigma_{er}^I = \sigma_{er} / \beta_s$	$\frac{N}{cm^2}$	23,0
σ_{er}	N	349
β_s	cm^2	15,72
$n = E_e / E_b$	-	7
β_{bz}	$\frac{N}{cm^2}$	9767
ϕ	cm	1,4

$$k_1 = 1,5 \left(\ddot{u} \cdot \frac{e}{g} \right) = \dots\dots\dots 7,3$$

\ddot{u} : Betondeckung	cm	3
e : Bew. abstand	cm	15

$$k_2 \cdot k_3 \frac{\phi}{\mu_z} = \dots\dots\dots 18,5$$

$k_2 = \beta_{bz} / E_m$	-	$\sim 0,4$
k_3	-	$\sim 0,25$
β_{bz}	cm^2	2070
$\mu_z = \beta_s / \beta_{bz}$	-	0,0076

$a_m = \underline{\underline{23,2}}$

Mittl. Rißbreite : [23]

$$w_m = v_0 \frac{\sigma_e^I}{E_e} + (a_m - v_0) \cdot \frac{1}{E_e} \left(\sigma_e^I - k_5 \frac{\sigma_{er}^2}{\sigma_e^I} \right)$$

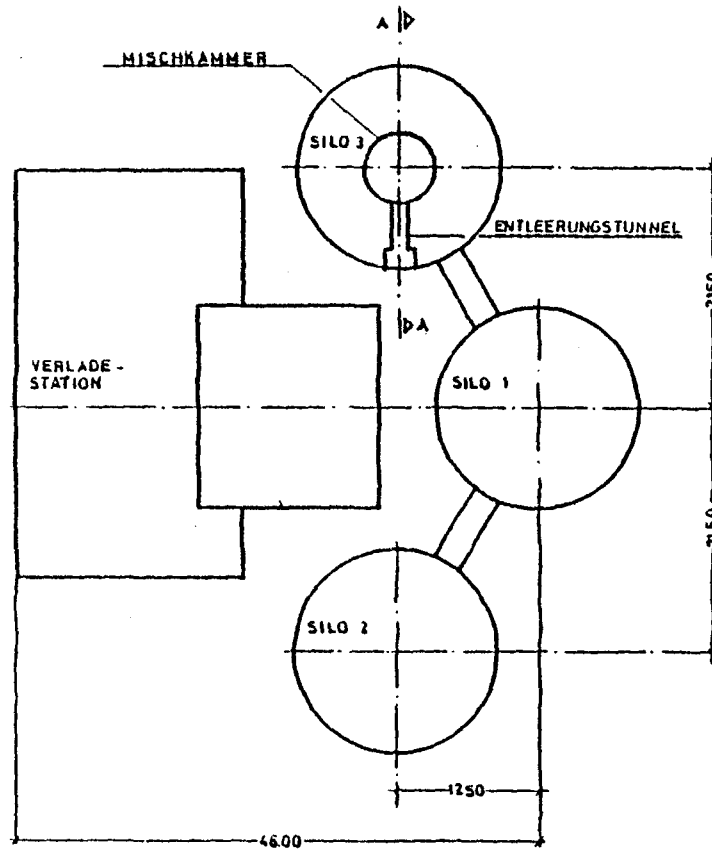
90 % Fraktilwert :

$$w_{90} \approx 1,5 w_m$$

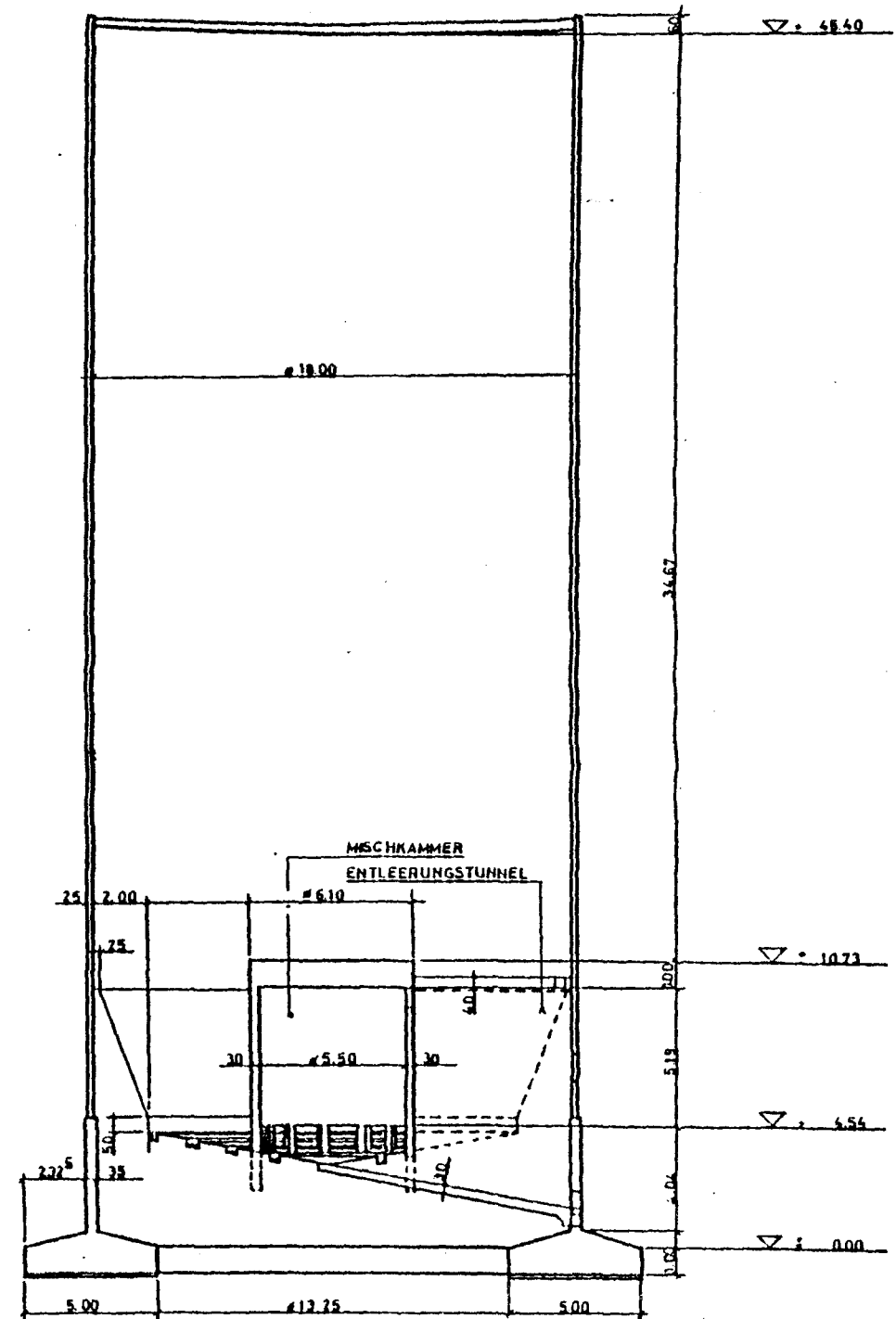
Auswertung :

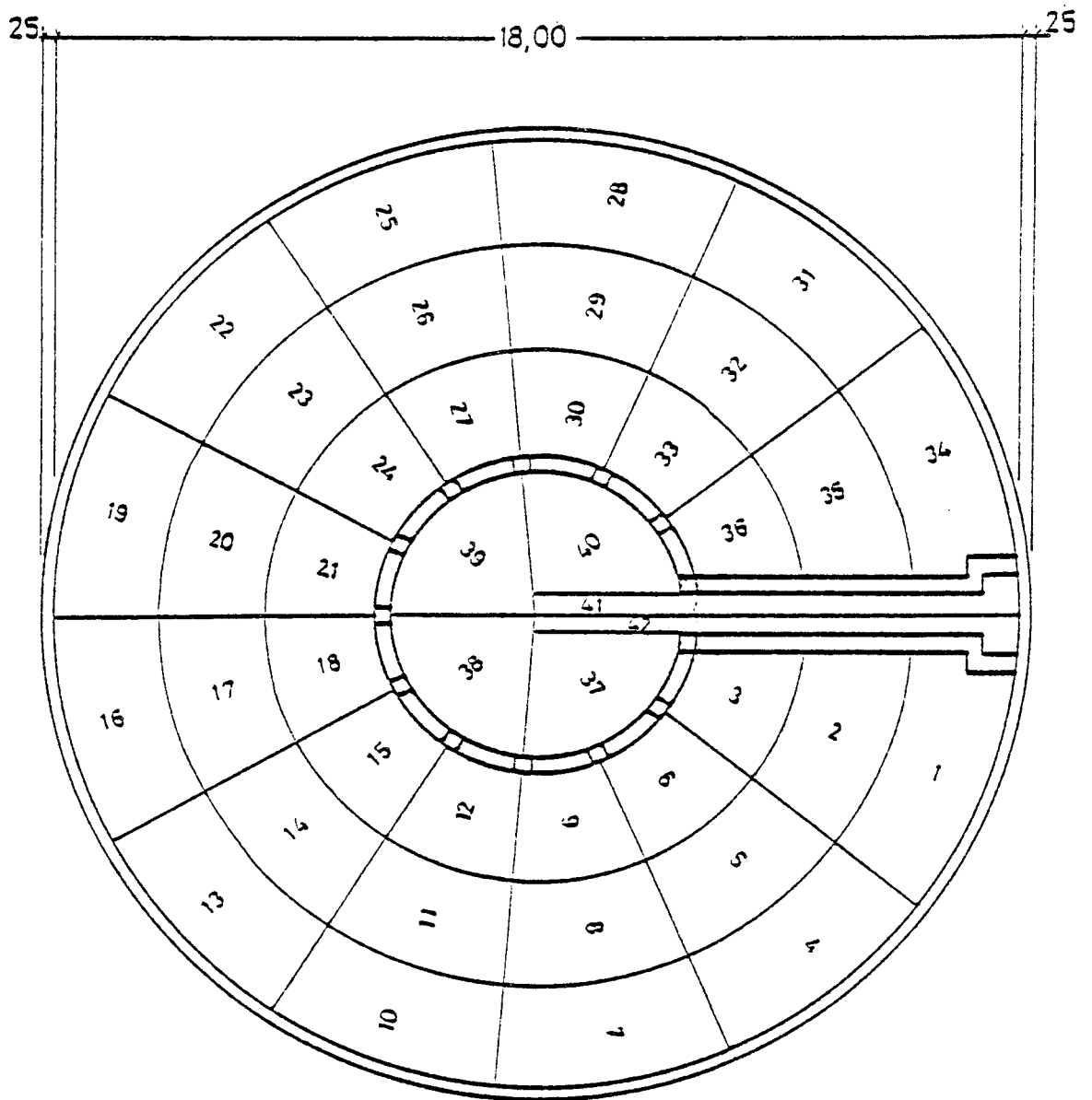
$\sigma_e^I \approx 240 \text{ N/cm}^2$	$R_t \approx 0,40$
$w_m \approx 6,8 \frac{240}{2100} + (29,2 - 6,8) \frac{1}{2,7} \cdot 10^{-6} \left(2400 - 0,4 \frac{2300^2}{2100} \right)$ $= 0,0078 + 0,0162 = 0,024 \text{ cm} \approx 0,24 \text{ mm}$	
$w_{90} \approx 1,5 \cdot 0,24 = 0,36 \text{ mm}$	
$\sigma_{er}^I \approx \frac{470}{1,4} = 335 \text{ N/cm}^2$	$R_t \approx 0,40$
$w_m \approx 6,8 \cdot \frac{3,5}{2100} + (29,2 - 6,8) \frac{1}{2,7} \cdot 10^{-6} \left(3100 - 0,4 \frac{2700^2}{2100} \right)$ $= 0,0113 + 0,0305 = 0,042 \text{ cm} \approx 0,42 \text{ mm}$	
$w_{90} \approx 1,5 \cdot 0,42 = 0,64 \text{ mm}$	

Anlage 12.10:
Rißabstand und -breite,
Schnitt 1



Anlage 13.1: Übersicht und Schnitt A - A





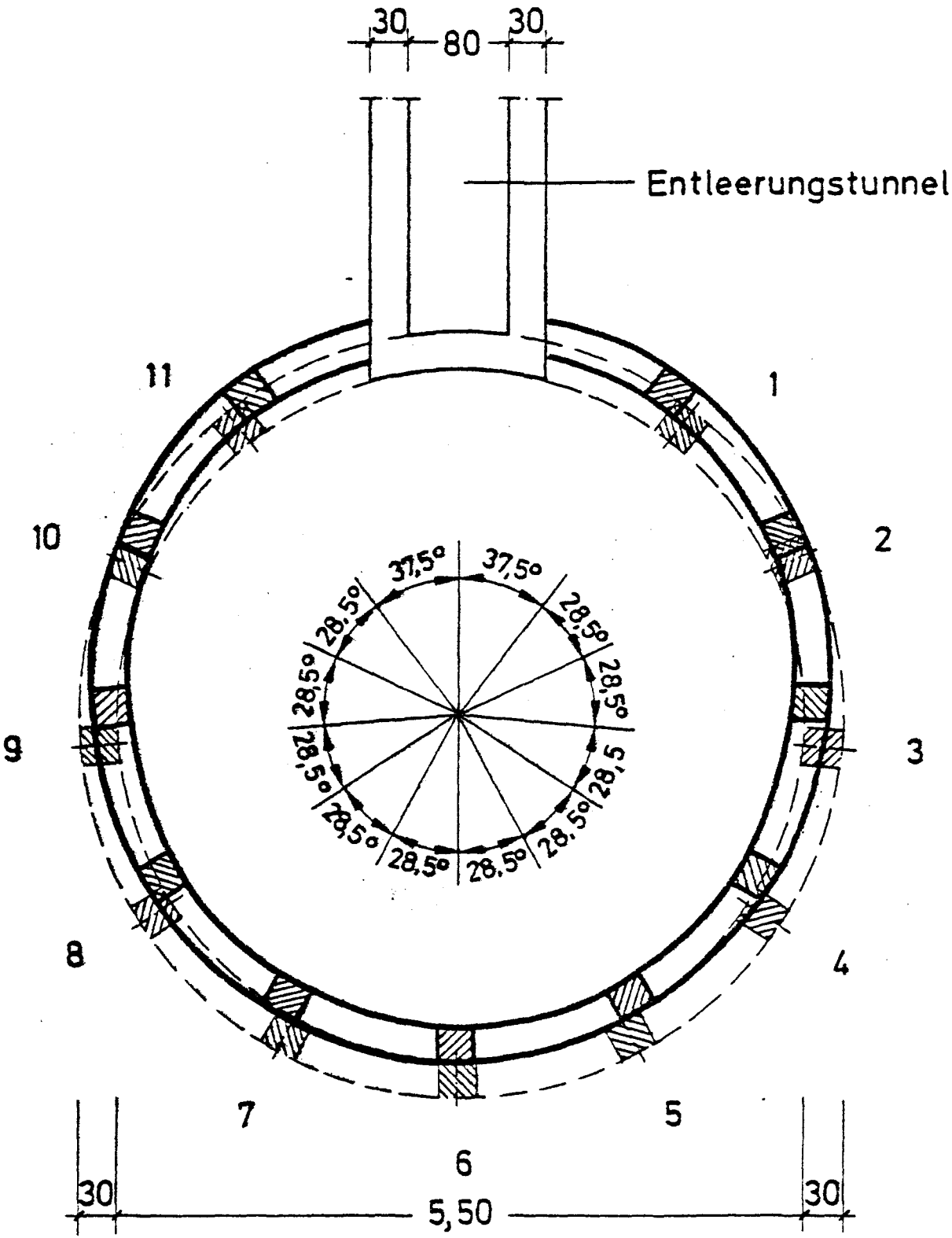
Anlage 13.2 : Grundriß und Segment -
einteilung für die pneu-
matische Entleerung

Anlage 13.3

Mischkammer von Silo 2

Verformung am oberen Stützenanschnitt

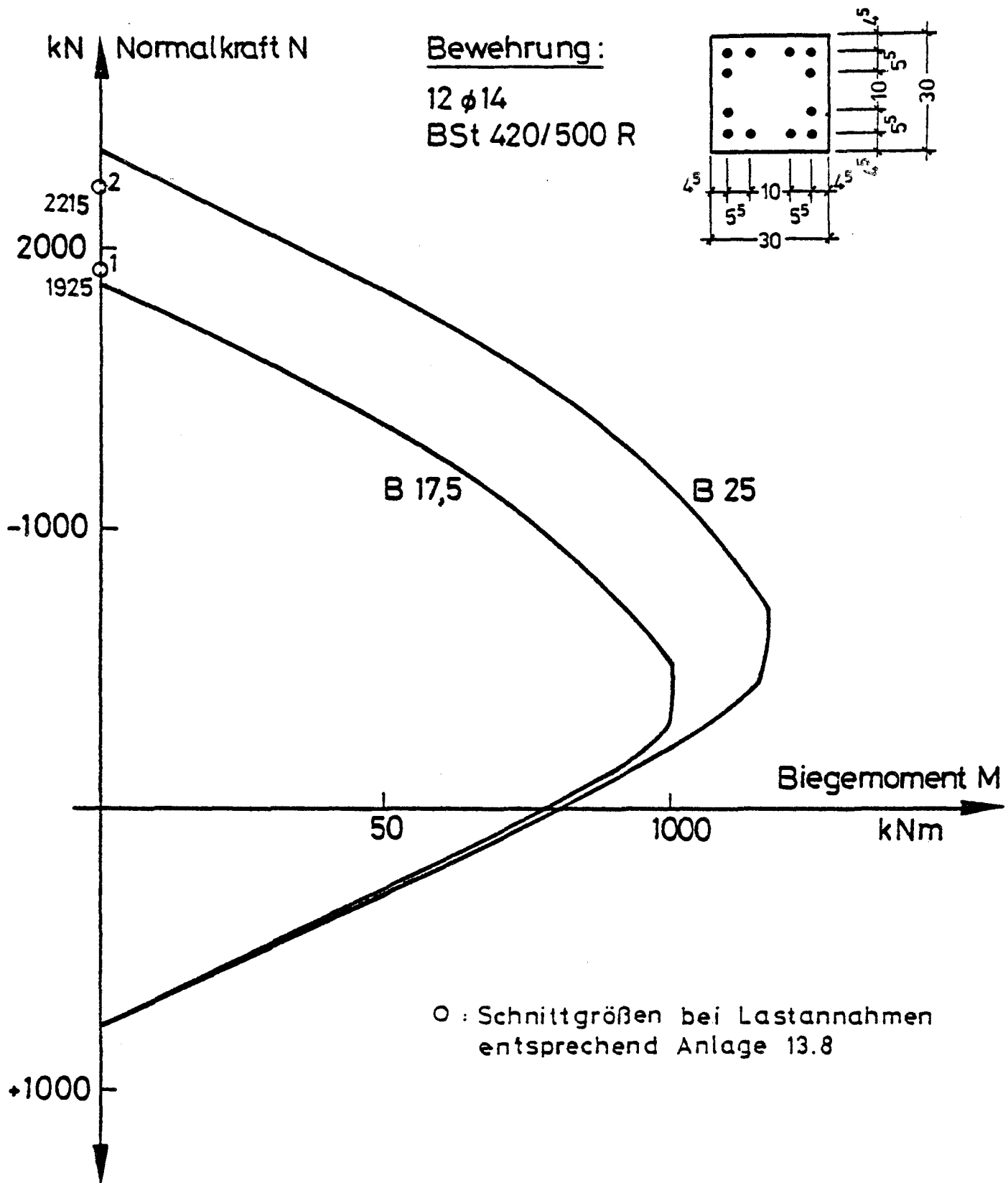
M.1:50



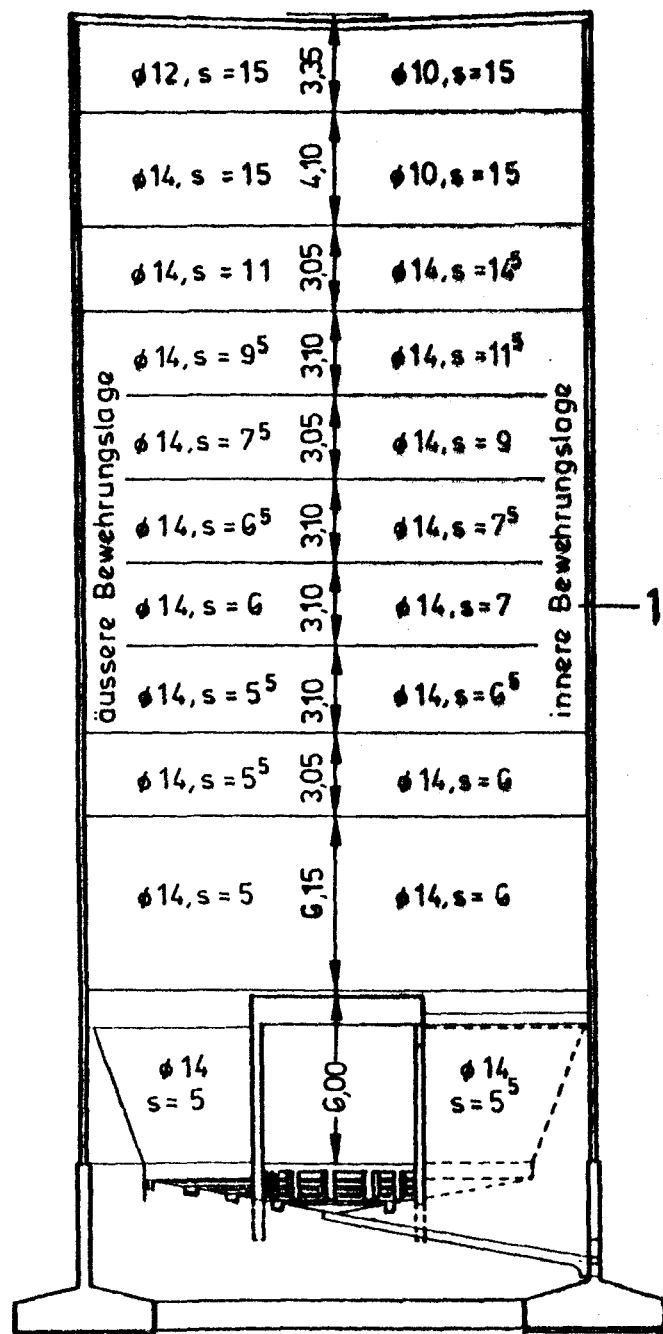
Legende:

----- ursprüngliche Lage

————— Verformung gemäß örtlichem Aufmaß



Anlage 13.4 : Grenztragfähigkeit der MK - Stützen
 nach DIN 1045



12,78	34,1	59,6	39,7
15,5	41,3	72,3	39,9
24,61	65,6	115	40,9
29,58	78,9	138	41,4
37,62	100	175	42,2
44,21	118	206	42,0
47,64	127	222	43,3
51,67	138	241	43,2
53,05	143	250	43,8
56,44	150	263	44,2
58,78	157	274	44,5
cm ² /m	kN/m ²	kN/m ²	kN/m ²
A _{s,ges}	P _{h,zul}	P _{h,u}	P _{h,r}

Stoßlänge nach		cm	✓
Bewehrungsplan		≥ 80	1,27
DIN 1045 Abs. 18 ; B 17,5 BSt 420/500 R d _s = 1,4 cm e ≤ 10 d _s Bereich II	l _ü γ=1,75	110	
	l _ü γ=1,0	63	

$$P_{h,zul} = A_{s,ges} \cdot \frac{zul \sigma_s}{r} = 2,667 \cdot A_{s,ges}$$

$$P_{h,u} = P_{h,zul} \cdot \frac{\beta_s}{zul \sigma_s} = 1,75 \cdot P_{h,zul}$$

P_{h,r} : Rißlast bei B 17,5

mit

$$\beta_{bz} = 1,38 \text{ N/mm}^2$$

5% Fraktile n. Rüschi

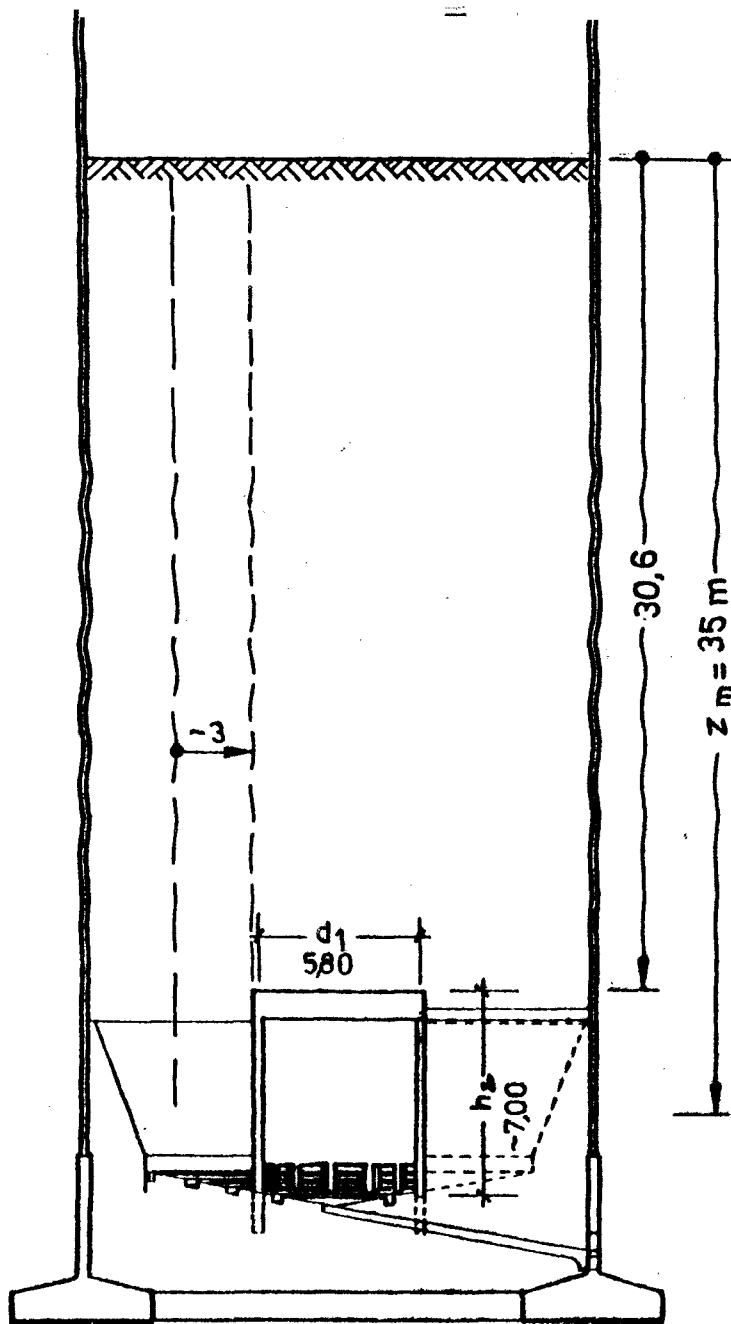
$$E_b \approx 27000 \text{ MN/m}^2$$

$$n = 7,78$$

$$A_{bi} = A_b + 6,78 \cdot A_{si,ges}$$

$$P_{h,r} = (\beta_{bz} \cdot A_{bi}) / r$$

Anlage 13.5: Planmäßige Ringbewehrung und aufnehmbare Horizontaldrucke



1.) Kennwerte - Zement

$$\gamma = 15 \text{ kN/m}^3, \varphi = 25^\circ$$

$$\lambda_f = 0,5, \lambda_e = 1,0$$

2.) Last auf MK-Decke (A/U=450m)

Vertikaldruck :

$$p_{vt}(z=30,6) = 230,2 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Einflußfläche : } A_1 = \pi \cdot \frac{d_1^2}{4} = 26,42 \text{ m}^2$$

$$V_1 = p_{vt} \cdot A_1 = 6082 \text{ kN}$$

3.) Last aus Wandreibung an MK-Wand (A/U=1,5m)

$$p_{wf}(z_m=35,0) = 22,5 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Oberfläche : } A_2 = \pi \cdot d_1 \cdot h_2 = 127,5 \text{ m}^2$$

$$V_2 = p_{wf} \cdot A_2 = 2870 \text{ kN}$$

4.) MK-Eigengewicht

$$V_3 = 1618 \text{ kN}$$

5.) Gesamtlast

$$V_{ges} = V_1 + V_2 + V_3 = 10570 \text{ kN}$$

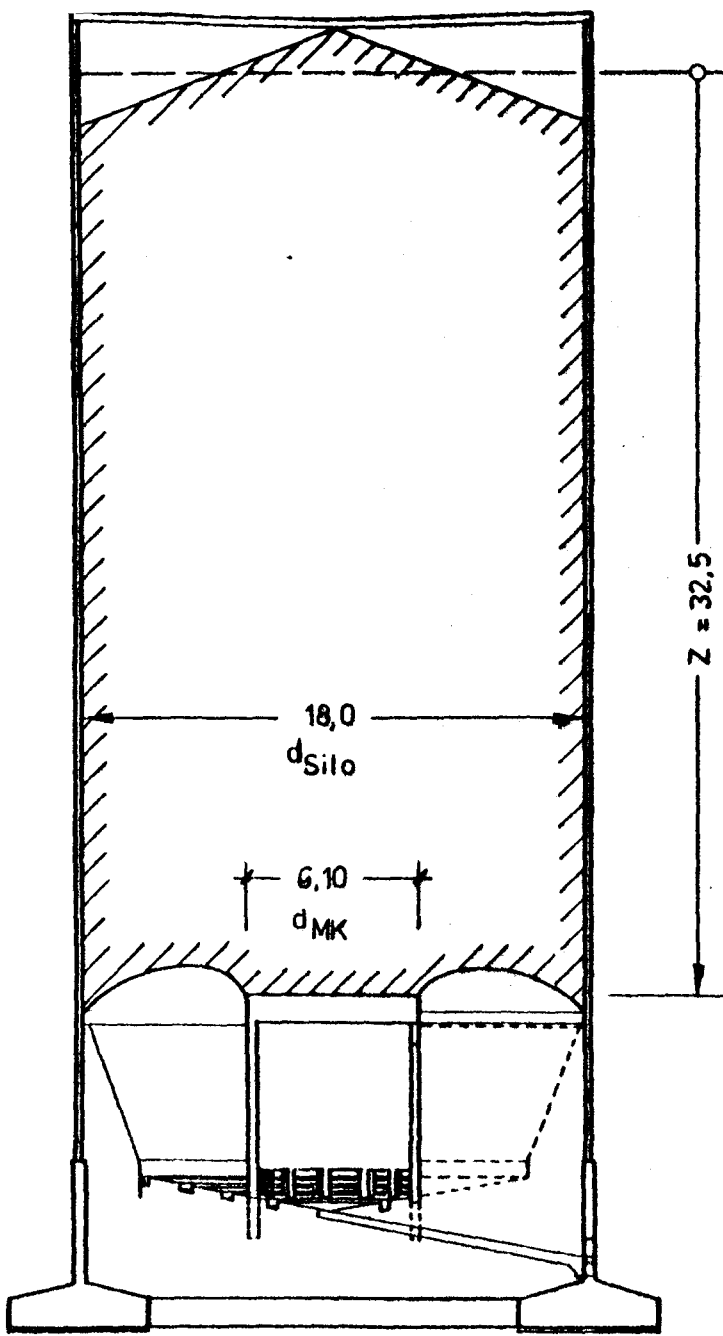
6.) Last je Stütze

$$V_{st} = \frac{V_{ges}}{\pi \cdot d_1} \cdot 1,3 = \underline{\underline{754 \text{ kN}}}$$

7.) Traglast

$$F_u(B25) = 2318 \text{ kN (vergl. Anlage 13.4)}$$

Anlage 13.6 : MK-Stützenlast und Tragfähigkeit nach Bauwerksstatik



1.) Vertikaldruck p_{vf} ($z = 32,5\text{m}$)

Kennwerte und Fülldruckansatz nach DIN 1055, Bl.6
und Bl.1: $A/U = 45\text{m}$
 $p_v(z = 32,5\text{m}) \approx 307\text{ kN/m}^2$

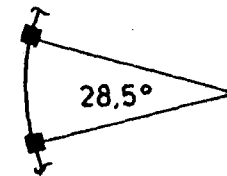
2.) Einflußfläche

$$A \approx \pi \cdot \frac{d_{MK}^2}{4} + \frac{1}{2} \cdot \left(\pi \cdot \frac{d_{Silo}^2}{4} - \pi \cdot \frac{d_{MK}^2}{4} \right) = 142\text{ m}^2$$

3.) Gesamtlast

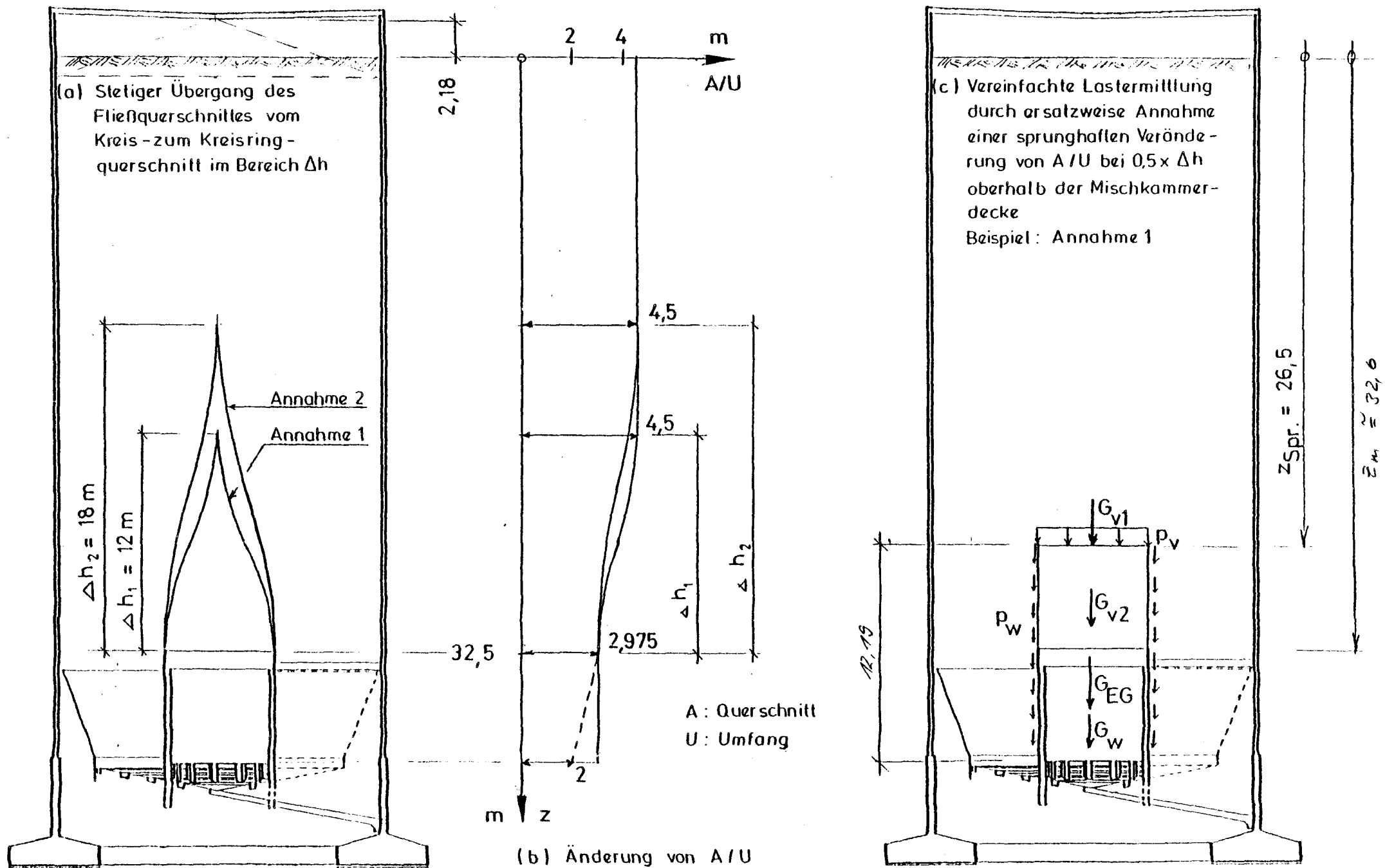
$$\begin{aligned} \text{Schüttgut} &: 307 \cdot 142 = 43594\text{ kN} \\ \text{EG - MK} &: \approx 1406\text{ kN} \\ \Sigma V_{MK} &= 45000\text{ kN} \end{aligned}$$

4.) Stützenlast

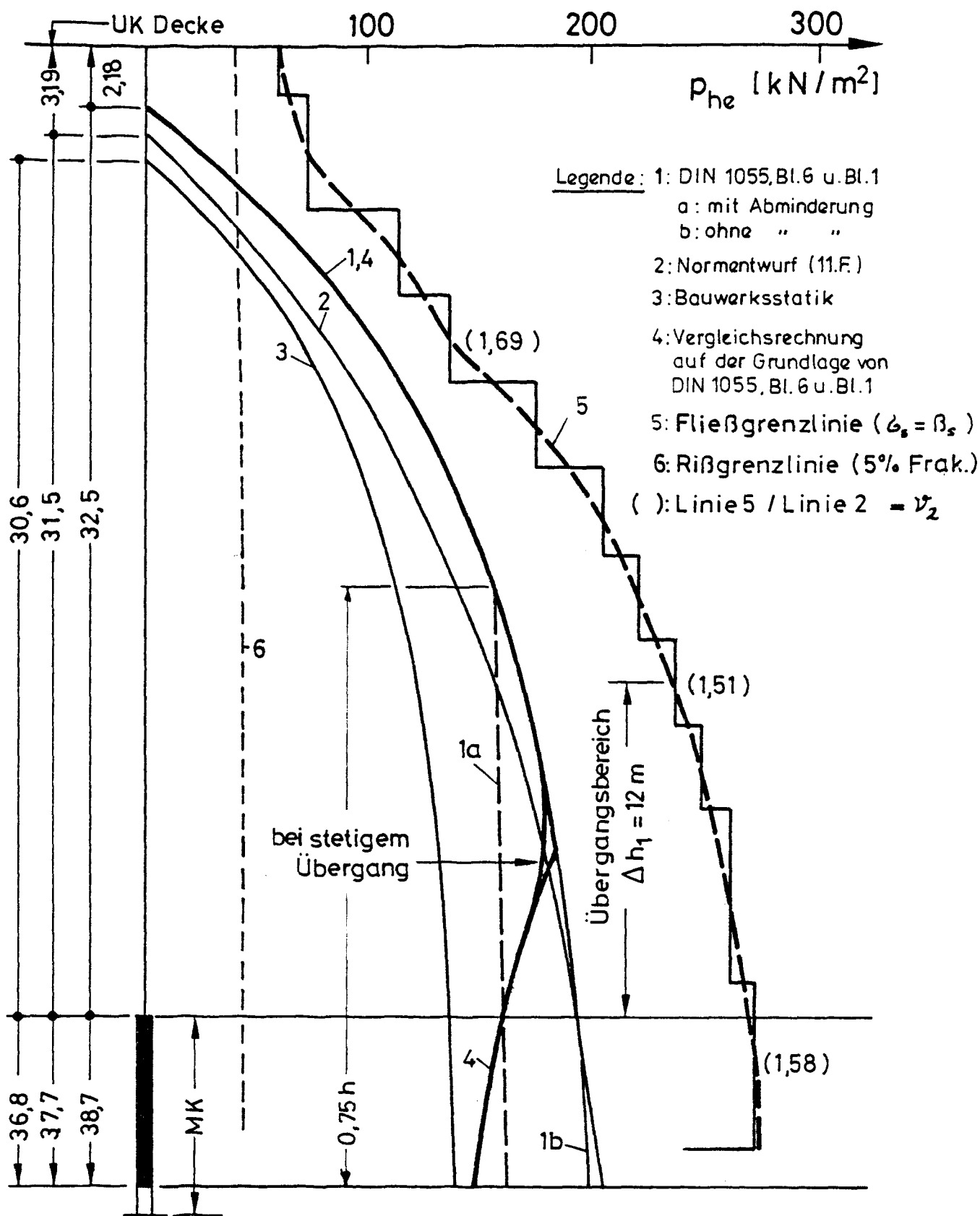


$$\begin{aligned} V_{St} &\approx \frac{28,5}{360} \cdot 4500 \approx 3563\text{ kN} \\ &\approx 1,54 \cdot V_u \text{ (B 25)} \\ &\approx 1,92 \cdot V_u \text{ (B 17,5)} \end{aligned}$$

Anlage 13.7: Vergleichsrechnung zur Ermittlung der MK-Stützenlasten



Anlage 13.8: Annahmen zur Ermittlung der 'MK-Stützenlasten bei normalen Betriebsbedingungen'



Anlage 13.9: Horizontaldruck p_{he} nach verschiedenen Lastannahmen und Grenztragfähigkeit

Parameter	Dim.	1058-6 (11.64)	NE-11.7	8000/ks - Stärke
μ	MN/m^3	17	16	15
φ	°	20	28	25
δ_f	°	20	-	25
$M_f = \tan \delta_f$	-	0,364	0,40	0,466
δ_e	°	20	-	25
$M_e = \tan \delta_e$	-	0,364	-	0,466
γ_a	-	-	-	-
γ_f	-	0,50	0,65	0,50
γ_e	-	1,00	-	1,00
H/U	m	4,50	4,50	4,50
e	m	-	-	-
H_i/U_i	m	-	-	-
C_2 (EB)	-	-	-	-
C_{E2} (EB)	-	-	-	-
C_h (NE-11)	-	-	1,30	-
C_b (NE-11)	-	-	1,30	-

Ersatzkriterien für
Stützhänge:

$$\Delta h = \frac{2}{3} \cdot r \cdot \tan \varphi$$

Mit $r = 9,00 \text{ m}$
ergibt sich für:

$$\varphi = 20^\circ : \Delta h \approx 2,18 \text{ m}$$

$$\varphi = 28^\circ : \Delta h = 3,19 \text{ m}$$

In der Bauwerksstatik
wurde gewählt

$$\Delta h \approx 4,10 \text{ m}$$

Anlage 13.10 : Kennwerte zur Druckermittlung

Mittl. Rißabstand : [23]

$$a_m = \frac{1}{2} \cdot v_0 + k_1 (\ddot{u}, e) + k_2 \cdot k_3 \frac{\phi}{\mu_z}$$

$$\frac{1}{2} v_0 = \frac{\Delta \sigma_{ex}^I \cdot \phi}{900} =$$

1,11

$\sigma_{ex}^I = \sigma_{ex}^I - n \cdot \sigma_{ex}$	$\frac{kN}{cm^2}$	7,11
$\sigma_{ex}^I = \sigma_{ex} / 17,5$	$\frac{kN}{cm^2}$	8,18
$E_R = p_R \cdot r = 43,3 \cdot 9,0$	kN	390
A_s	cm^2	47,64
$n = E_s / E_b$	-	7,78
σ_{ex}	$\frac{kN}{cm^2}$	0,138
ϕ	cm	1,4

$$k_1 = 1,5 \left(\ddot{u} - \frac{e}{8} \right) =$$

4,97

\ddot{u} : Betondeckung	cm	2,5
e : Bew. abstand	cm	6,5

$$k_2 \cdot k_3 \cdot \frac{\phi}{\mu_z} =$$

7,77

$k_2 = \sigma_{ex} / \tau_{ex}$ (Bereich I)	-	~ 0,40
k_3 (Aug)	-	~ 0,25
$A_{0,2}$	cm^2	2500
$\mu_z = \tau_s / \tau_{0,2}$	-	0,019

$$a_m \approx$$

13,5 cm

Mittl. Rißbreite : [23]

$$w_m = v_0 \frac{\sigma_e^I}{E_e} + (a_m - v_0) \cdot \frac{1}{E_e} \left(\sigma_e^I - k_5 \frac{\sigma_{ex}^2}{\sigma_e^I} \right)$$

90 % Fraktilwert :

$$w_{90} \approx 1,5 w_m$$

Auswertung :

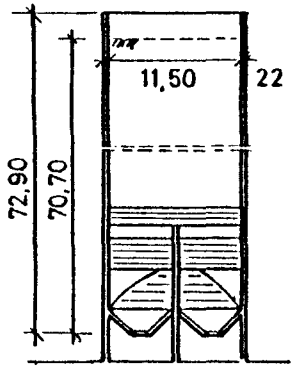
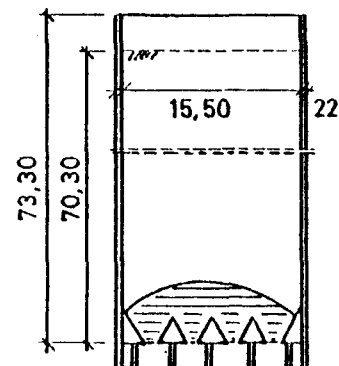
$$k_5 \approx 0,60 \quad \sigma_e^I \approx \sigma_s / 1,35 \approx 311 \text{ N/mm}^2$$

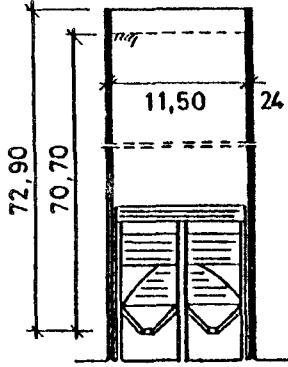
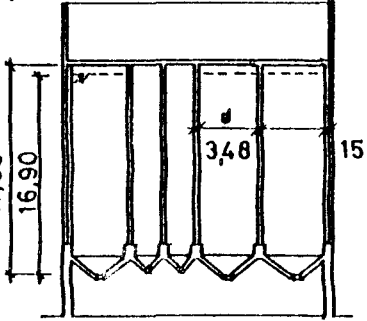
$$w_m = 2,22 \cdot \frac{3,11}{2100} + (13,5 - 2,22) \cdot \frac{1}{211} \cdot 10^{-6} \left(3110 - \frac{2,8^2}{3110} \cdot 9,6 \right)$$

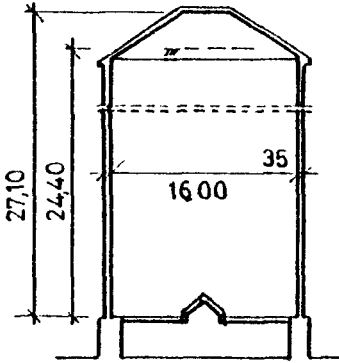
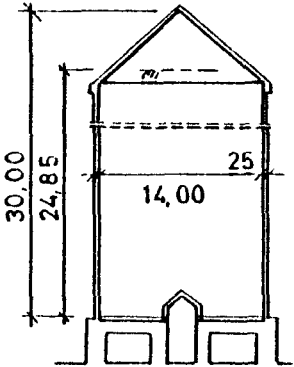
$$= 0,0033 + 0,016 \approx 0,02 \text{ cm} \approx \underline{\underline{0,2 \text{ mm}}}$$

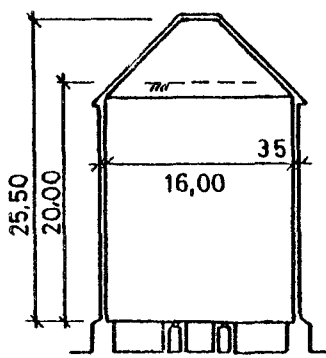
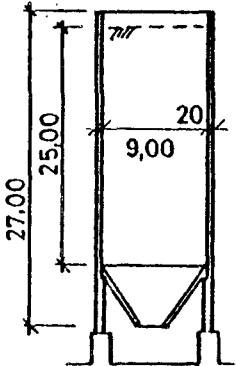
$$w_{90} \approx 1,5 \cdot 0,2 = 0,3 \text{ mm}$$

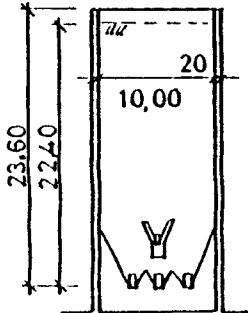
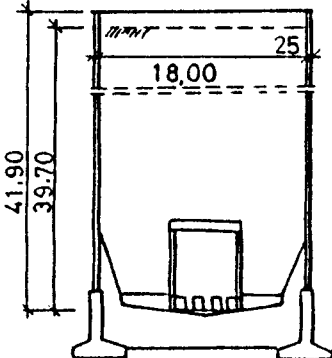
Anlage 13.11:
Rißabstand und -breite
in Schnitt 1 (Anl. 13.5)

Nr.	Gut	Skizze	Baumängel	Konstr. mängel	Art des Schadens	wahrsch. Ursache
1	Mais		<ul style="list-style-type: none"> - erhöhte Beton-deckung - unregelmäßiger Bewehrungsabstand - 20 % der Ringbe-wehrung fehlt 	<ul style="list-style-type: none"> - Auflagerung des Entlastungsbalkens in der Wandung 	<ul style="list-style-type: none"> - Einsturz durch Biege-Zug-Versagen in Ringrichtung - örtlich eventuell auch Verbundver-sagen 	<ul style="list-style-type: none"> - Nicht rotations-symm. Horizontal-druck: i. M. zentr. Ent-Entleeren nach 1055-6; Umlagerung $\Delta p_h \approx 0,05 \cdot p_{he,z} \cdot \cos 2 \varphi$ oder - geringerer Hori-zontaldruck bei entsprechend grö-ßerer Umlagerung
		h_s / ϕ_i 70,70/11,50 \approx 6,2				
		Stahlbeton				
2	Mais		<ul style="list-style-type: none"> - Gleitstangenrohre unverpreßt - Schlaaffe Bewehrung: - unregelmäßiger Abstand - 17 % fehlt in der äußeren Ringlage - Spannstahl: - Abweichungen von Sollage - Hüllrohre unver-preßt - Spannglied nicht vorgespannt 	<p>./.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Risse, überwiegend in vertikaler Richtung und durchgehend (Spannstahl nicht plastisch verformt) 	<ul style="list-style-type: none"> - Rotationssymme-trischer Horizon-taldruck nach EB bei zentrischem Entleeren
		h_s / ϕ_i 70,30/15,50 \approx 4,5				
		Spannbeton				

Nr.	Gut	Skizze	Baumängel	Konstr. mängel	Art des Schadens	wahrsch. Ursache
3	Tapioka Pellets oder Mais	 <div> h_s/ϕ_i 70,70/11,50 \approx 6,2 </div> <div>Spannbeton</div>	<ul style="list-style-type: none"> - Gleitstangenrohre unverpreßt - Flickstellen mit ungenüg. Haftung am Untergrund - unregelmäßiger Abstand der schlaffen Bewehrung - Unterschreitung der Sollwandstärke (6 %) - nicht ausgepreßtes Hüllrohr 	./.	<ul style="list-style-type: none"> - Risse, überwiegend in vertikaler Richtung sowie örtliche Ovalisierung der Zelle und Abplatzungen (Spannstahl plastisch verformt) 	<ul style="list-style-type: none"> - Nicht rotationssymmetrischer Horizontaldruck: i. M. zentr. Entleeren nach EB; Umlagerung: <ul style="list-style-type: none"> - bei Mais: $\Delta p_h \approx 0,08 \cdot p_{he,z} \cdot \cos 2\varphi$ - bei Tap. pellets: $\Delta p_h \approx 0,25 \cdot p_{he,z} \cdot \cos 2\varphi$
4	Weizen	 <div> h_s/ϕ_i 16,90/3,48 \approx 4,9 </div> <div>Stahlbeton</div>	<ul style="list-style-type: none"> - 75 % der inneren, horizontalen Bewehrung fehlt in der Außenwand - vermutlich nach eig. Ermessen angeordnete Aufhängebewehrung greift unzureichend in Außenwand ein 	<ul style="list-style-type: none"> - im Bewehrungsplan fehlt eine Bewehrung zur Rückverankerung der Last auf die Außenwände in die Innenwandscheiben - die Bewehrungspläne sind schwer zu verstehen 	<ul style="list-style-type: none"> - Versagen der Zugverbindung zwischen Außen- und Innenwand: Dadurch doppelte Stützweite und örtlicher Wandbruch (Biege-Zugversagen) 	<ul style="list-style-type: none"> - Horizontaldruck auf ganzem Wandumfang im Mittel nach Janssen/Koenen mit $\gamma = 7,5 \text{ kN/m}^3$ $\varphi = 30^\circ$ und $\delta = 3/4 \varphi$

Nr.	Gut	Skizze	Baumängel	Konstr. mängel	Art des Schadens	wahrsch. Ursache
5	Zement		- nicht überprüft	- Bewehrung in Mit- telfläche konzentriert	- durchgehende klaffende Verti- kalrisse (Ringbewehrung plastisch ver- formt)	- Rotationssymme- trischer Horizon- taldruck geringer als nach 1055-6 bzw. EB bei zen- trischem Entleeren
		h_s/ϕ_i 24,40/16,00 \approx 1,5				
		Stahlbeton				
6	Zement		- sehr unregelmäßiger Bewehrungsabstand - sehr ungleichmäßi- ge Stoßlängen - erhöhte Betondek- kung	./.	- Einsturz durch Zug-Bruch in Ringrichtung	- Rotationssymme- trischer Horizon- taldruck geringer als nach 1055-6 bzw. EB im Füll- zustand
		h_s/ϕ_i 24,85/14,00 \approx 1,8				
		Stahlbeton				

Nr.	Gut	Skizze	Baumängel	Konstr. mängel	Art des Schadens	wahrsch. Ursache
7	Zementklinker		- nicht überprüft	- Bewehrung in Mittelfläche konzentriert	- durchgehende klaffende Vertikalrisse (Ringbewehrung plastisch verformt)	- Rotationssymmetrischer Horizontaldruck geringer als nach 1055-6 bei zentr. Entleeren
		h_s/ϕ_i 20,00/16,00= 1,25				
		Stahlbeton				
8	Zementklinker		- Streuung der Druckfestigkeit - feinemörtelreicher, poröser Beton Weiteres wurde nicht überprüft	- Bewehrung überwiegend in äußerer Lage konzentriert	- Vertikalrisse (insbesondere innen zu erkennen) - Erosion der inneren Betondeckung durch Schüttgutreibung	- Rotationssymmetrischer Horizontaldruck geringer als nach 1055-6 bei zentr. Entleeren
		h_s/ϕ_i 25,0/9,00 = 2,8				
		Stahlbeton				

Nr.	Gut	Skizze	Baumängel	Konstr. mängel	Art des Schadens	wahrsch. Ursache
9	Zement		<ul style="list-style-type: none">- horizontal verlaufende Kiesnestbereiche (innen)- vermutlich Arbeitsstörungen beim Gleiten	./.	<ul style="list-style-type: none">- Vertial- und Horizontalrisse mit Rißbreiten $\leq 0,3\text{mm}$, Bewehrung nicht plastisch verformt	<ul style="list-style-type: none">- Rotationssymmetrischer Horizontdruck geringer als nach 1055-6 bzw. EB für zentrisches Entleeren
		h_s/ϕ_i 22,40/10,00 $\cong 2,2$				
		Stahlbeton				
10	Zement		<ul style="list-style-type: none">- die Druckfestigkeit der MK-Stützen beträgt B 17,5 statt B 25- der Bügelabstand der MK-Stützen ist unregelmäßig <p>Siloschale wurde nicht überprüft</p>	./.	<ul style="list-style-type: none">- Druckbruch aller MK-Stützen	<ul style="list-style-type: none">- für MK: ein großer Teil des oberhalb des MK anstehenden Zements lastet sich auf die MK ab <p>Horizontaldruck auf Zellenwand bisher offenbar geringer als nach 1055-6 bei zentrischem Entleeren.</p>
		h_s/ϕ_i 39,70/18,00 $\cong 2,2$				
		Stahlbeton				